



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP**

**ESCOLA DE MINAS**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**



**LUCAS FIGUEIREDO COSTA**

**POTÊNICAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO  
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

**OURO PRETO - MG  
2023**

**LUCAS FIGUEIREDO COSTA**  
**lucas.costa2@aluno.ufop.edu.br**  
**lucasfigueiredo42@icloud.com**

**POTÊNICAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO  
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

**Professor orientador:** DSc. Edson Alves Figueira Júnior

**OURO PRETO – MG**  
**2023**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C837p Costa, Lucas Figueiredo.  
Potencial de geração de energia elétrica utilizando sistemas  
fotovoltaicos. [manuscrito] / Lucas Figueiredo Costa. - 2023.  
79 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Edson Alves Figueira Jr.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.  
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Geração de energia fotovoltaica. 2. Energia - Fontes alternativas -  
Matriz Elétrica. 3. Geração de energia fotovoltaica - Módulos. I. Figueira  
Jr, Edson Alves. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



## FOLHA DE APROVAÇÃO

Lucas Figueiredo Costa

### Potencial de geração de energia elétrica utilizando sistemas fotovoltaicos

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico

Aprovada em 07 de Março de 2023

#### Membros da banca

[Dsc] - Edson Alves Figueira Júnior - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto  
[Dsc] - Claudio Marcio Santana - Universidade Federal de Ouro Preto  
[Dsc] - José Francisco Vilela Rosa - Universidade Federal de Ouro Preto

Edson Alves Figueira Júnior, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 15/03/2023



Documento assinado eletronicamente por **Edson Alves Figueira Junior, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/03/2023, às 09:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Claudio Marcio Santana, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/03/2023, às 09:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jose Francisco Vilela Rosa, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/03/2023, às 17:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0490915** e o código CRC **49B5AB0B**.

A minha família dedico essa conquista, em especial aos meus pais e irmão pelo apoio e autonomia.

Aos meus amigos, professores e ao sistema republicano pelo crescimento pessoal durante a minha graduação em engenharia.

## AGRADECIMENTO

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais, Terezinha e Romi, por tudo que fizeram por mim e por sempre acreditarem no meu sonho. Ao meu irmão Rafael por estar sempre ao meu lado nas minhas decisões. Quero também pontuar a importância de todos os meus tios e tias, primos e primas, das famílias Figueiredo e Costa, por todo carinho. As minhas avós Geralda (In Memoriam) e Maria pelos ensinamentos.

Agradeço ao Professor Edson Alves Figueira Junior, pela orientação, paciência, e conhecimento transmitido, sempre com sugestões pontuais que agregaram e muito este trabalho.

Agradeço a Equipe Delícias Caseiras por serem sempre presentes na minha vida. Aos amigos de Paraopeba/MG, em especial aos irmãos do Borellios, por estarem ao meu lado desde sempre.

Aos amigos do 17.1 da Mecânica, a melhor turma que já existiu, deixo o meu agradecimento. Em especial, Bernardo, Danilo, Gabriel Machado, Gabriel Souza, e João Vitor, que sempre estimularam e exigiram o melhor de mim durante a minha graduação. Também guardo com carinho o companheirismo da Carolina Freitas, Ana Carolina, Gianluca, Renan Silva, Luciano e João Paulo Nejar pelos momentos de descontração, conversa e reflexão nessa reta final.

A UFOP e seus professores, pelo conhecimento transmitido, em especial aos professores Igor Cesar e Gustavo Paulinelli que através das excelentes aulas me motivaram a seguir em frente nessa reta final. Viva a Escola de Minas!

Agradeço ao sistema republicano e a Ouro Preto pela formação pessoal, pelos amigos que fiz e pelos momentos inesquecíveis.

Por fim, quero agradecer a República Taberna, lugar onde eu aprendi o verdadeiro significado da palavra família. Obrigado a todos os Taberneiros, ex-alunos, homenageados e moradores, pelos melhores dias da minha vida e por poder aprender com cada um de vocês.

*“Os únicos limites das nossas realizações de amanhã são as nossas dívidas e hesitações de hoje.”*

Franklin Roosevelt

## RESUMO

Esse trabalho visa demonstrar o potencial de geração fotovoltaica que pode ser utilizado no Brasil, contribuindo qualitativamente com a diversificação da matriz elétrica, reduzindo danos ambientais além de, contribuir com a preocupação relacionada aos impactos socioambientais e as leis regentes nessa área. Com base nos relatos expostos, a metodologia do trabalho é classificada, quanto a forma de abordagem como mista (qualitativa e quantitativa), possui objetivos explicativos e é enquadrada como pesquisa bibliográfica, pesquisa documental e estudo de caso. O estudo de caso realizado será de uma usina fotovoltaica, instalada em uma residência na cidade de Paraopeba – MG, que se enquadra como uma Micro e Mini Geração Distribuída - MMSGD. No estudo em questão será avaliado os parâmetros para o dimensionamento da usina, sua geração, seu consumo e a injeção de energia elétrica em outra residência. Além disso, será avaliado o custo de implantação e a economia em contas de energia após o seu funcionamento.

**Palavras-chave:** Energia fotovoltaica. Matriz Elétrica. Módulos fotovoltaicos. Geração de energia.



## ABSTRACT

*This work aims to demonstrate the potential of photovoltaic generation that can be used in Brazil, qualitatively contributing to the diversification of the electrical matrix, reducing environmental damage, in addition to contributing to the concern related to socio-environmental impacts and the governing laws in this area. Based on the exposed reports, the methodology of the work is classified, regarding the form of approach, as mixed (qualitative and quantitative), has explanatory objectives and is framed as bibliographical research, documental research and case study. The case study carried out will be of a photovoltaic plant, installed in a residence in the city of Paraopeba - MG, which fits as a Distributed Micro and Mini Generation - MMGD. In the study in question, the parameters for the dimensioning of the plant, its generation, its consumption and the injection of electric energy in another residence will be evaluated. In addition, the cost of implantation and the savings on energy bills after its operation will be evaluated.*

Keywords: Photovoltaic energy. Electrical Matrix. Photovoltaic modules. Power generation.

## LISTA DE SIMBOLOS

IEA	<i>International Energy Agency</i>
MG	Minas Gerais
a. C.	Antes de Cristo
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GWh	Gigawatt-hora
TWh	Terawatt-hora
GW	Gigawatt
MW	Megawatt
FMI	Fundo Monetário Internacional
PIB	Produto Interno Bruto
$\Delta\%$	Varição percentual
MMGD	Mini e Microgeração Distribuída
kWp	Quilowatt-pico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
UCs	Unidades Consumidoras
HFO	Óleo Combustível Pesado
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
SIN	Sistema Interligado Nacional
NOS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
Nº	Número
COP26	Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
Mm	Milímetro
kW	Quilowatt
PRONASOLAR	Política Nacional de Energia Solar Fotovoltaica
Btus	Unidade Térmica Britânica
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito
$I_{\text{Média}}$	Irradiação solar média
$I_{\text{Pino}}$	Irradiação solar a pino
$C_{\text{MD}}$	Consumo Médio Diário
$C_{\text{MM}}$	Consumo Médio Mensal
HSP	Número de horas de sol pleno
$P_{\text{FV}}$	Potência máxima para suprir a demanda do gerador fotovoltaico

TD	Taxa de Desempenho
$N_{\text{Módulos}}$	Número de módulos necessários
$P_{\text{Módulos}}$	Potência de cada módulo
Wp	Watt-pico
CC	Corrente Contínua

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Forma de energia e suas conversões. ....	6
Figura 2: Formas de geração de energia elétrica. ....	7
Figura 3: Matriz energética mundial em 2020. ....	8
Figura 4: Matriz energética no Brasil em 2021. ....	8
Figura 5: Comparação do consumo de energia no Brasil e no Mundo em 2018. ....	9
Figura 6: Matriz elétrica mundial em 2022. ....	10
Figura 7: Geração da eletricidade mundial entre 1990 e 2019. ....	10
Figura 8: Geração elétrica fotovoltaica mundial entre 1990 e 2020. ....	12
Figura 9: Consumo de energia elétrica entre 1990 e 2020. ....	13
Figura 10: Geração de eletricidade Mundial entre 1990 e 2019. ....	14
Figura 11: Total de adições de capacidade de eletricidade renovável, 2021-2027. ....	14
Figura 12: Matriz elétrica no Brasil em 2022. ....	18
Figura 13: Utilização de fontes renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo. ....	19
Figura 14: Geração de energia elétrica no Brasil entre 1990 e 2020. ....	19
Figura 15: Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil (outubro/2022). ....	20
Figura 16: Investimentos Anuais em Mini e Microgeração Distribuída. ....	22
Figura 17: Total de Investimentos entre 2010 e 2020 em MMGD. ....	22
Figura 18: Potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual do território brasileiro. ....	24
Figura 19: Usina Termoelétrica Porto de Sergipe. ....	27
Figura 20: Esquema de uma célula fotovoltaica que recebe radiação solar. ....	29
Figura 21: Vista frontal de duas células solares convencionais de silício cristalino. ....	30
Figura 22: Diagrama de um sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica pública. ....	30
Figura 23: Estrutura laminada habitual de um módulo comercial. ....	32

Figura 24: Capacidade instalada em geração distribuída no Brasil de Janeiro 2015 até Novembro 2019.....	35
Figura 25: Fluxograma da metodologia utiliza.....	39
Figura 26: Módulo fotovoltaico de 450W de potência.....	47
Figura 27: Inversor Growatt. ....	47
Figura 28: String Box comercial. ....	48
Figura 29: Usina fotovoltaica em Paraopeba/MG. ....	49
Figura 30: Fluxograma mostrando as possíveis situações comparando geração e consumo. ..	52

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Geração de eletricidade por fonte no Mundo em 2020. ....	11
Tabela 2: Geração de energia renovável no mundo em 2019.....	12
Tabela 3: Ano do primeiro aumento significativo na geração de energia fotovoltaica das principais economias do Mundo.....	15
Tabela 4: Capacidade instalada de geração solar no mundo - 10 maiores países em 2018 (GW). .....	16
Tabela 5: Classificação das maiores usinas fotovoltaicas em operação no mundo.....	17
Tabela 6: Geração de eletricidade por fonte no Brasil em 2020. ....	20
Tabela 7: Consumo de energia elétrica no Brasil entre 1990 e 2020 em TWh. ....	21
Tabela 8: Geração de energia fotovoltaica no Brasil entre 2013 e 2020.....	23
Tabela 9: As 5 maiores plantas solares fotovoltaicas do País. ....	25
Tabela 10: principais impactos e suas causas provenientes das Termelétricas. ....	28
Tabela 11: Rendimentos típicos de módulos fotovoltaicos de distintas tecnologias.....	31
Tabela 12: Classificação da geração fotovoltaica quanto ao porte.....	34
Tabela 13: Tarifa cobrada referente a injeção de energia na rede. ....	36
Tabela 14: Variáveis e Indicadores. ....	40
Tabela 15: Gasto com conta de energia antes da instalação da Usina.....	42
Tabela 16: Consumo dos novos equipamentos que serão usados no endereço da usina.....	43
Tabela 17: Geração mensal por módulo fotovoltaico de 450 Wp instalado na residência.....	48
Tabela 18: Geração de Energia em kWh nos anos de 2021 e 2022.....	50
Tabela 19: Energia injetada no endereço em Ouro Preto. ....	51
Tabela 20: Crédito utilizado desde a instalação da usina. ....	51
Tabela 21: Gasto com conta de energia elétrica após a instalação da Usina.....	53
Tabela 22: Gasto em energia elétrica antes e depois da instalação da Usina Fotovoltaica (R\$). .....	53
Tabela 23: Relação do preço de conta de energia antes e depois da instalação da usina. ....	54

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Geral .....	3
1.3.2	Específicos.....	3
1.4	Estrutura do Trabalho .....	3
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
2.1	Energia.....	5
2.2	Matriz Energética .....	7
2.3	Matriz Elétrica .....	9
2.3.1	Matriz Elétrica Mundial.....	9
2.3.2	Matriz Elétrica Brasileira.....	17
2.3.3	Termelétricas .....	25
2.4	Energia fotovoltaica.....	29
2.4.1	Módulos Fotovoltaicos .....	31
2.4.2	Inversores .....	32
2.4.3	Orientação dos Módulos.....	33
2.4.4	Legislação.....	33
2.4.5	Aspectos Ambientais .....	36
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>38</b>
3.1	Tipo de Pesquisa.....	38
3.2	Materiais e Métodos .....	39
3.3	Variáveis e Indicadores .....	40
3.4	Instrumentos de Coleta de Dados .....	40
3.5	Tabulação dos Dados.....	40
3.6	Considerações Finais do Capítulo .....	41
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>42</b>
4.1	Dados coletados antes da Instalação.....	42
4.2	Descrição da Usina Fotovoltaica .....	46
4.3	Geração da Usina e Consumo da Residência .....	49

4.4	Análise dos Gastos antes e depois da Instalação .....	52
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>55</b>
5.1	Conclusão .....	55
5.2	Recomendações .....	56
	<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>57</b>



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Formulação do Problema

Vian (2021) afirma que a energia fotovoltaica é proveniente da transformação da energia solar em energia elétrica. Ainda de acordo com o autor, sendo o sol a principal fonte de energia do nosso planeta, a tecnologia fotovoltaica tem se tornado bastante viável visto que não é poluente, é perene e de fácil acesso. Portanto, o menor impacto ambiental, a facilidade de construção e de operação, e a melhoria do rendimento e da confiabilidade dos módulos fazem dos sistemas de energia solar fotovoltaica um meio sustentável para geração de energia (VIAN, 2021).

De acordo com Imhoff (2007), a energia fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade ao qual possui um dispositivo base para a conversão da luz em energia elétrica, a célula fotovoltaica. A conversão é feita devido ao efeito fotovoltaico que converte diretamente a energia solar em energia elétrica. O efeito fotovoltaico foi relatado por Edmond Becquerel em 1839, e de acordo com Nascimento (2004, p.7) ele ocorre “quando nos extremos de uma estrutura de matéria semicondutora surge o aparecimento de uma diferença de potencial elétrico, devido à incidência de luz”. Villalva e Gazoli (2012) afirmam que os sistemas fotovoltaicos são baseados em módulos compostos de células fotovoltaicas, a corrente produzida nos módulos é coletada e processada por inversores eletrônicos.

O mundo vem passando por uma grave crise energética pois os combustíveis fósseis estão se tornando mais escassos e houve um investimento tardio em energia renovável. De acordo com a IEA - *International Energy Agency* (2021), a China, que é a maior produtora e consumidora de carvão mineral do mundo, tem passado por fortes crises no setor energético devido aos baixos níveis nos estoques de carvão. Os preços de gás, carvão e eletricidade tem ocorrido aumentos contínuos e sem precedentes em todo mundo, devido a uma combinação de fatores que podem estar relacionados a crise de abastecimento energético mundial após a baixa no consumo de energia em 2020 devido a pandemia do COVID-19 (IEA, 2021).

O Brasil, além de sofrer com os efeitos diretos relacionados a crise energética mundial e o alto preço de combustíveis fósseis, passou por uma crise hídrica e elétrica. Isso se deve ao fato de que a Matriz Elétrica Nacional é muito dependente da geração de energia hidráulica, que segundo o Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico de Outubro de 2022, segundo Brasil (2022a), corresponde a 54,3% da Matriz de capacidade instalada de Geração de Energia

Elétrica enquanto que a geração fotovoltaica apresenta apenas 10,6%. Uma descentralização da matriz energética se vê necessário no cenário atual.

Os sistemas fotovoltaicos, seja em gerações centralizadas ou descentralizadas, tem passado por grandes investimentos nos últimos anos. Segundo Azevedo (2021) a energia fotovoltaica foi a tecnologia de geração de energia mais instalada no mundo. Andersen (2019, p. 11) afirma que:

Investir em energia renovável é investir em um futuro sustentável e rentável, conforme vimos no incrível crescimento em energias renováveis da última década. Mas não podemos nos dar ao luxo de ser complacentes. As emissões globais do setor de energia aumentaram cerca de 10% nesse período. Está claro que precisamos acelerar rapidamente o ritmo da mudança global para as energias renováveis, se quisermos atingir as metas internacionais de clima e desenvolvimento.

O investimento na geração de energia fotovoltaica atrelada a políticas públicas que visem incentivar a utilização de usinas fotovoltaicas para produção de energia se torna necessário. Além disso, por se tratar de uma fonte de energia renovável, sem danos nocivos ao meio ambiente em sua utilização e economicamente viável, investir em energia fotovoltaica é uma forma de atenuar a crise energética mundial. Para isso é necessário avaliar as tecnologias existentes de placas fotovoltaicas, a quantidade de usinas que existem, a demanda de instalação de novas usinas e novas tecnologias.

### **Como demonstrar que a geração de energia fotovoltaica seja uma forma sustentável de diversificar a Matriz Elétrica Nacional?**

#### **1.2 Justificativa**

O atual cenário energético do país, no qual a crise hídrica se mostrou frequente nos últimos anos, compreende-se que a energia elétrica que abastece a maioria das cidades, comunidades e algumas empresas, dependem de cheias em reservatórios e essa realidade esteve precária nos últimos anos, segundo o boletim mensal de monitoramento do sistema elétrico brasileiro.

O cenário energético mundial, onde os preços dos combustíveis fósseis têm se mostrado bastante voláteis nos últimos anos ao qual o aumento do preço do gás natural levou a uma mudança substancial para o uso de carvão em mercados-chaves como Estados Unidos, Europa e Ásia, aumentando assim a emissão de gás carbono para geração de energia elétrica em todo mundo (IEA, 2021).

Evidenciando que os sistemas fotovoltaicos são um dos modelos para resolver esses problemas com chance de aprimorar ainda mais a situação do Brasil e no mundo no quesito renovável, neste presente trabalho, será abordado os benefícios de ampliar a geração de energia fotovoltaica. Por consequência, mostrar que tal energia pode ser uma forma de diversificar a geração e reduzir a dependência das usinas hidrelétricas e termelétricas, diminuindo os impactos ambientais e dependência das chuvas.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Geral**

Esse trabalho visa demonstrar o potencial de geração fotovoltaica que pode ser utilizado no Brasil, contribuindo com a diversificação da matriz elétrica, reduzindo danos ambientais bem como, contribuir com a preocupação relacionada aos impactos socioambientais e as leis regentes nessa área.

#### **1.3.2 Específicos**

- Contextualizar a matriz elétrica no Brasil e no mundo;
- Apresentar os principais investimentos, juntamente com as normas e os impactos ambientais vinculados a energia fotovoltaica;
- Elaborar um procedimento metodológico com abordagem mista (qualitativa e quantitativa), de objetivos explicativos e enquadrado como pesquisa bibliográfica, pesquisa documental e estudo de caso;
- Analisar a instalação e funcionamento de uma usina fotovoltaica residencial;
- Apresentar a energia fotovoltaica como uma forma de diversificar significativamente a Matriz Elétrica Nacional.

### **1.4 Estrutura do Trabalho**

Este trabalho é dividido em cinco capítulos, sendo o primeiro à introdução no assunto ao qual é formulado o problema e é apresentado a justificativa para a elaboração desta monografia. Além disso são apresentados os objetivos gerais, específicos e a estrutura do Trabalho.

No segundo capítulo tem-se uma revisão bibliográfica, abordando conceitos como energia, geração de energia, matriz energética e elétrica, energia proveniente das termelétricas, energia renovável, energia fotovoltaica, construção de uma usina fotovoltaica e a legislação vigente referente a geração de energia elétrica fotovoltaica.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia de realização do trabalho, a partir dos meios utilizados para a solução do problema. Nele será descrito quais são os tipos de pesquisas utilizadas para a construção da monografia levando em consideração os objetivos, a forma de abordagem e os procedimentos técnicos.

No quarto capítulo são mostrados os resultados referentes ao estudo de caso de uma usina fotovoltaica residencial localizada em Paraopeba/MG. Já no quinto capítulo será apresentado uma conclusão referente aos resultados obtidos. Além disso, serão apontadas, ideias para trabalhos futuros e uma análise referente ao cenário atual da geração de energia fotovoltaica no Brasil.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Energia

Philippi Jr e Reis (2016) afirmam que a origem de palavra energia é derivada do grego energós (ἐνεργός) e seu significado está ligado com a capacidade de realizar alguma atividade ou trabalho. Ainda segundo os autores, é possível que derivações da palavra energia tenham sido mencionadas por Aristóteles em seu livro *Ética a Nicômaco* por volta de 330 a. C.

A energia pode se apresentar na natureza de diversas formas e de acordo com Moreira (2017), ela pode ser transformada pelos chamados processos de conversão de energia. Segundo Philippi Jr e Reis (2016), as formas de energia podem ser classificadas em duas categorias, quanto a natureza e quanto ao movimento, cinético e potencial. Ainda conforme os autores, cada uma das naturezas está vinculada com um tipo energia e podem ser classificadas como: energia de massa; energia de radiação eletromagnética; energia elétrica; energia mecânica; energia nuclear; energia química; energia térmica; etc.

Philippi JR e Reis (2016) afirmam que existem vários processos de conversão de energia., dentre eles, a termomecânica ao qual converte trabalho em calor, a eletromecânica que transforma trabalho em eletricidade, a termoquímica produz ou absorve calor através das reações químicas, e a eletroquímica que através das reações químicas produzem eletricidade. Ainda segundo os autores, esses processos de conversão são uma via de mão dupla, ou seja, da mesma forma que pode ser convertido o trabalho em alguma forma de energia, pode se usar da energia para gerar trabalho. A Figura 1 apresenta um esquema que relaciona as formas de energia e suas conversões.



grandezas como carga, força, campo e potencial são destacados nos fenômenos eletrostáticos, enquanto as grandezas elétricas, tensão, corrente, resistência e potência são destacadas nos fenômenos eletrodinâmicos. A Figura 2 apresenta exemplos de geração de energia elétrica.



Figura 2: Formas de geração de energia elétrica.  
Fonte: Moreira (2017, p. 4).

Na Figura 2, a imagem a esquerda destaca dois tipos de geradores, eólicos e fotovoltaicos, já a fotografia a direita mostra uma usina hidrelétrica ao qual possuem geradores hidráulicos.

## 2.2 Matriz Energética

Em Brasil (2022b), a Empresa de Pesquisa Energética – EPE pontua que a matriz energética representa o conjunto de fontes de energia disponíveis para utilização da sociedade. Ainda segundo o autor, ela se difere da matriz elétrica que é formada pelo conjunto de fontes disponíveis para a geração de energia elétrica, sendo assim, a matriz elétrica faz parte da matriz energética. É necessário utilizar energia para realizar diversas atividades, das mais complexas para as mais simples, como acender uma luz, movimentar um carro ou até mesmo fazer um churrasco (BRASIL, 2022b).

Brasil (2022b) afirma que a análise da matriz energética é fundamental para a orientação do planejamento do setor energético, que deve garantir a produção e o uso adequado da energia produzida, onde uma das informações mais importantes adquiridas é a quantidade de recursos naturais que está sendo utilizada, para saber se esses recursos estão sendo feitos de forma racional. Ainda de acordo com o autor, o mundo possui uma matriz energética composta, em sua maioria, por fontes não renováveis como o petróleo, o gás natural e o carvão mineral. A Figura 3 mostra a composição da matriz energética Mundial em 2020.

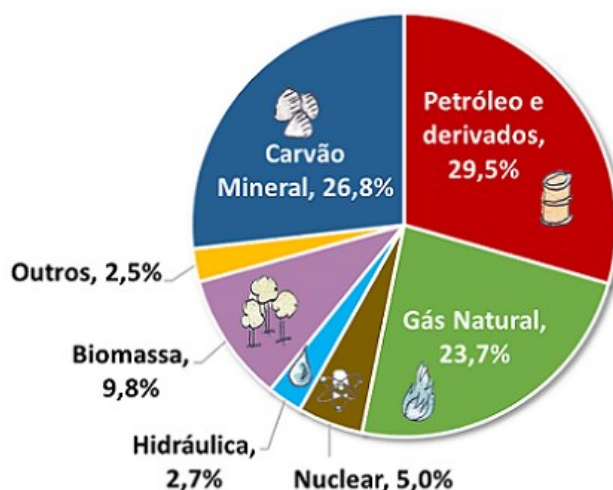


Figura 3: Matriz energética mundial em 2020.  
Fonte IEA *apud* Brasil (2022b).

A dependência mundial na utilização de combustíveis fósseis e ressaltada na Figura 3. O gráfico apresenta a composição da matriz energética mundial, está incluso na parte em amarelo no gráfico referida como “Outros” fontes renováveis como solar, eólica e geotérmica, por exemplo, e juntas correspondem a apenas 2,5% da matriz energética mundial.

A Figura 4 mostra a composição da matriz energética brasileira em 2021.

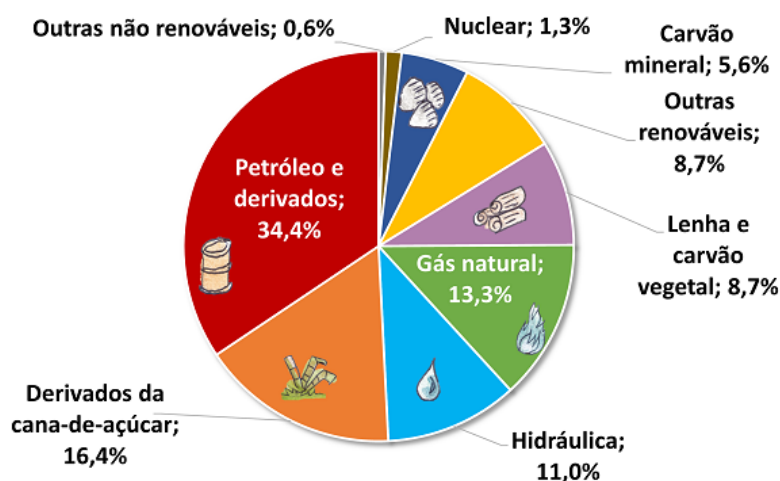


Figura 4: Matriz energética no Brasil em 2021.  
Fonte: BEN *apud* Brasil (2022b).

Analisando a Figura 4 é possível notar que no Brasil, a matriz energética possui um cenário bem diferente levando em conta a matriz energética mundial. Apesar do percentual de energia não renovável ser maior do que o renovável, aqui, possui uma utilização maior das fontes renováveis se comparado com o resto do mundo.



A Figura 5 mostra um comparativo entre as matrizes energéticas, do Brasil e do Mundo no ano de 2020.

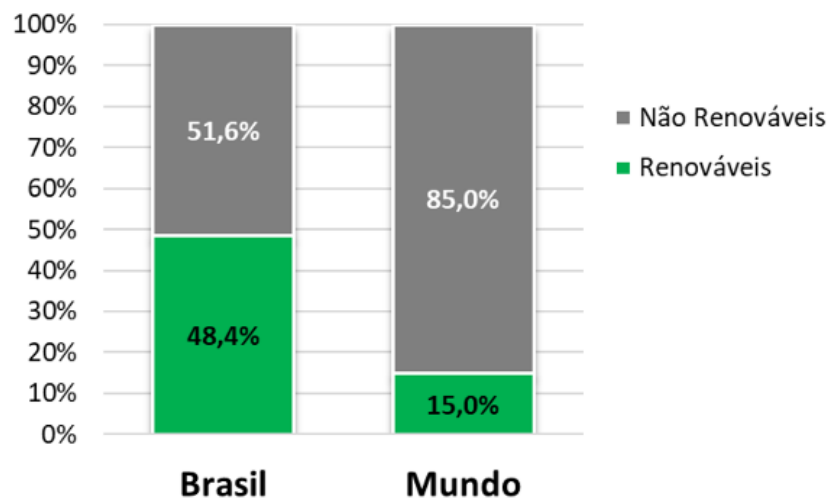


Figura 5: Comparação do consumo de energia no Brasil e no Mundo em 2018.

Fonte: Brasil (2022b).

Ao analisar a Figura 5, é possível notar que o Brasil possui uma matriz energética menos dependente dos combustíveis fósseis quando comparado com o restante do mundo. As fontes de energia não renováveis são as maiores responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa (GEE), o que tem agravado o aquecimento global e as mudanças climáticas (BRASIL, 2022b).

## 2.3 Matriz Elétrica

### 2.3.1 Matriz Elétrica Mundial

De acordo com a BRASIL (2022b), a matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica em um país, estado ou no mundo. Ainda segundo o autor, a geração de energia elétrica no mundo é baseada, principalmente, em combustíveis fósseis como carvão, óleo e gás natural, e em termelétricas. A Figura 6 mostra um gráfico comparando o percentual das fontes de energia elétrica mais utilizadas no mundo.

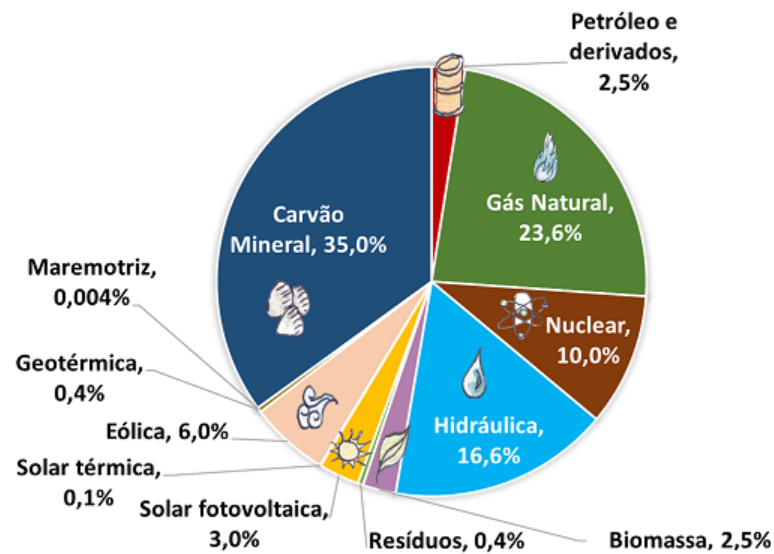


Figura 6: Matriz elétrica mundial em 2022.  
Fonte: IEA *apud* Brasil (2022b).

Na Figura 6 é mostrada a matriz elétrica mundial em 2022 e expõe a dependência dos combustíveis fósseis para geração de energia elétrica no mundo. As energias, térmica e fotovoltaica, correspondem a 3,1% da geração de energia elétrica total.

Na Figura 7 é observado a quantidade de energia gerada entre 1990 e 2019, das principais fontes de energia.

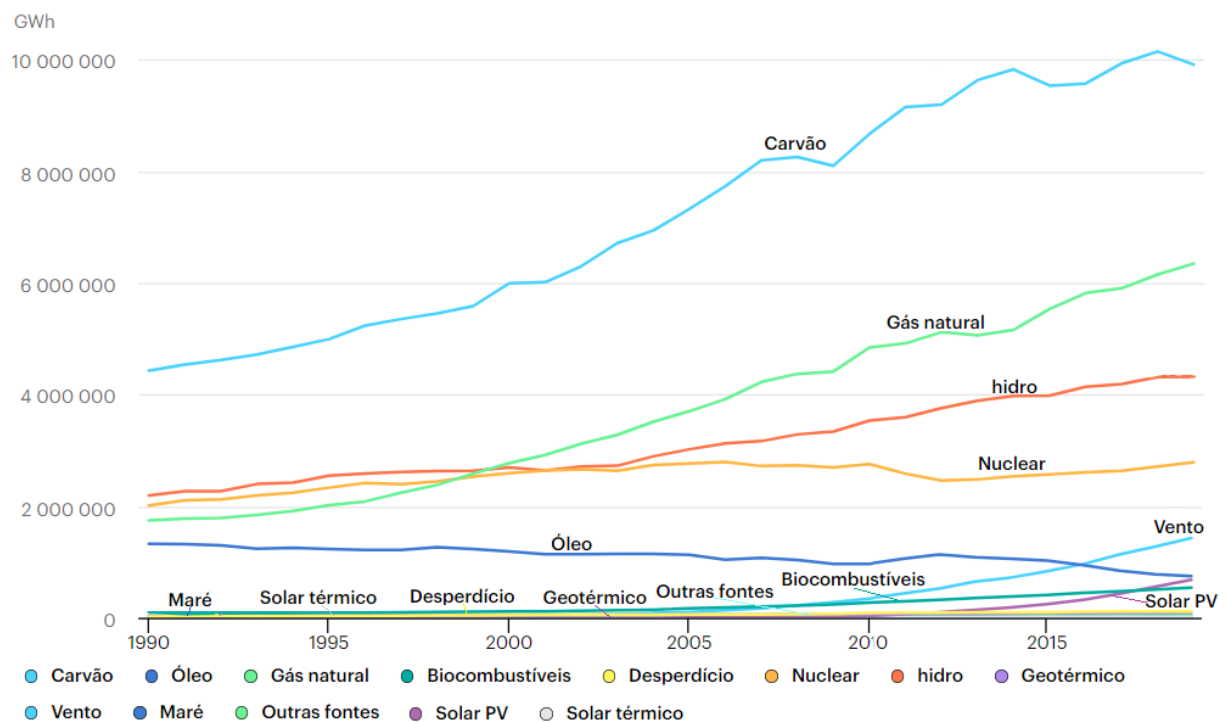


Figura 7: Geração da eletricidade mundial entre 1990 e 2019.  
Fonte: Adaptado de IEA (2023a).

Analisando a Figura 7 é possível observar que desde 1990 o carvão é a fonte de energia mais utilizada no mundo para produzir eletricidade. Além disso, é possível notar que a geração de energia fotovoltaica vem tendo um aumento significativo desde 2008, sendo que, em 2019 foi a 7ª maior forma de se gerar energia no mundo (atrás de carvão, gás natural, hidráulica, nuclear, vento e petróleo).

A Tabela 1 mostra um comparativo entre a produção de energia elétrica de cada fonte em 2020.

Tabela 1: Geração de eletricidade por fonte no Mundo em 2020.

**Geração de eletricidade por fonte no Mundo em 2020**

<b>Fonte</b>	<b>Geração (GWh)</b>	<b>%</b>
Carvão	9.452.492,00	35,23
Gás Natural	6.334.959,00	23,61
Hidráulica	4.453.011,00	16,60
Nuclear	2.673.939,00	9,97
Vento	1.598.080,00	5,96
Fotovoltaica	823.782,00	3,07
Petróleo	667.949,00	2,49
Biocombustíveis	571.295,00	2,13
Desperdício	113.312,00	0,42
Geotérmico	94.944,00	0,35
Outras fontes	34.178,00	0,13
Solar térmico	13.715,00	0,05
Maré	989,00	0,004
<b>TOTAL:</b>	<b>26.832.645,00</b>	<b>100%</b>

Fonte: adaptado de IEA (2023a).

Comparando os dados da Tabela 1 com os da Figura 7 é possível notar que entre 2019 e 2020 a geração de energia elétrica fotovoltaica passou a ser maior que a geração de eletricidade utilizando o petróleo.

A Figura 8, mostra a geração de eletricidade proveniente da energia fotovoltaica, em Gigawatts hora (GWh), entre os anos 1990 e 2020.

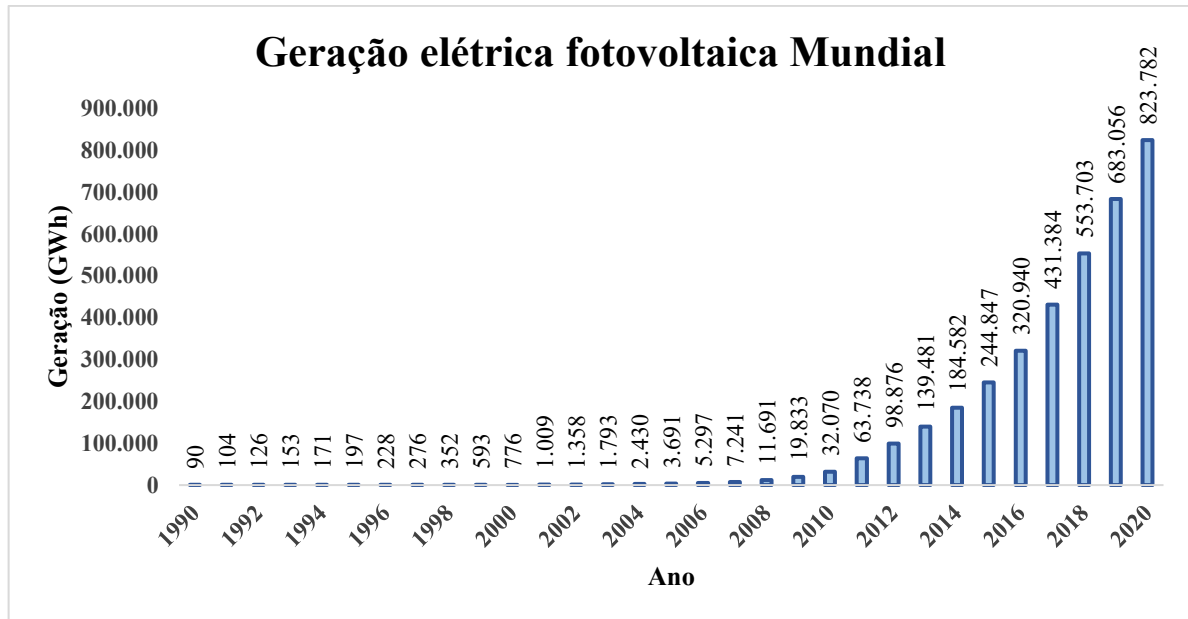


Figura 8: Geração elétrica fotovoltaica mundial entre 1990 e 2020.

Fonte: Adaptado de IEA (2023a).

Na Figura 8, é possível notar um aumento significativo de geração a partir de 2007. No ano de 2020 foi registrado uma geração de 823.782,00 GWh, superando o ano anterior em 140.726,00 GWh. Portanto, a tendência é que a geração elétrica fotovoltaica continue em uma crescente consideravelmente alta nos próximos anos.

A Tabela 2 compara os países que apresentam as maiores gerações de energia elétrica utilizando fontes de energia renováveis em 2019.

Tabela 2: Geração de energia renovável no mundo em 2019.

Renováveis	TWh
República Popular da China	2 015
Estados Unidos	767
Brasil	515
Canadá	427
Índia	325
Alemanha	242
Federação Russa	197
Japão	186
Turquia	132
Noruega	131
Resto do mundo	2 077
<b>Mundo</b>	<b>7 014</b>

Fonte: IEA, informações sobre eletricidade, (2021).

Na Tabela 2, a China, os Estados Unidos e o Brasil são os três países que mais produziram energia utilizando fontes renováveis em 2019. A China produziu 2015 Terawatts-hora (TWh), os Estados Unidos 767 TWh e o Brasil 515 TWh dos 7014 TWh produzidos em todo o Mundo.

A Figura 9 mostra o consumo de energia elétrica mundial entre 1990 e 2020.

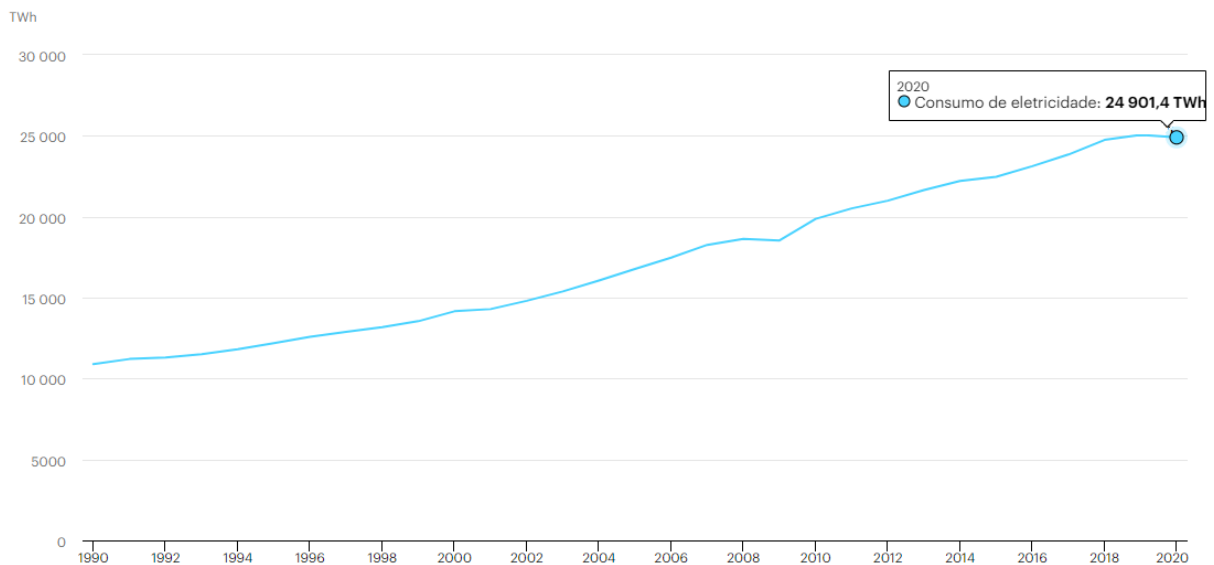


Figura 9: Consumo de energia elétrica entre 1990 e 2020.  
Fonte: IEA (2023a).

Observando a Figura 9, é possível reparar um aumento no consumo de energia elétrica em todo mundo entre 1990 e 2020, com exceção do período entre 2008 e 2009, onde houve uma pequena queda no consumo de eletricidade devido à crise financeira que o mundo passou no período conhecido como a “Grande Recessão”. Além disso, entre 2019 e 2020, foi registrado um declínio no consumo elétrico devido a pandemia do COVID-19. Ao comparar o consumo entre 1990 e 2020 é possível destacar que ele mais do que duplicou neste período, visto que, em 1990 o consumo era de 10894,7 TWh e em 2020 ele foi de aproximadamente 24901,4 TWh (IAE, 2023a).

A demanda de energia elétrica tem aumentado com o passar dos anos devido ao aumento populacional e uma crescente dependência tecnológica. A Figura 10 mostra um aumento de geração de energia elétrica no mundo com o passar dos anos.

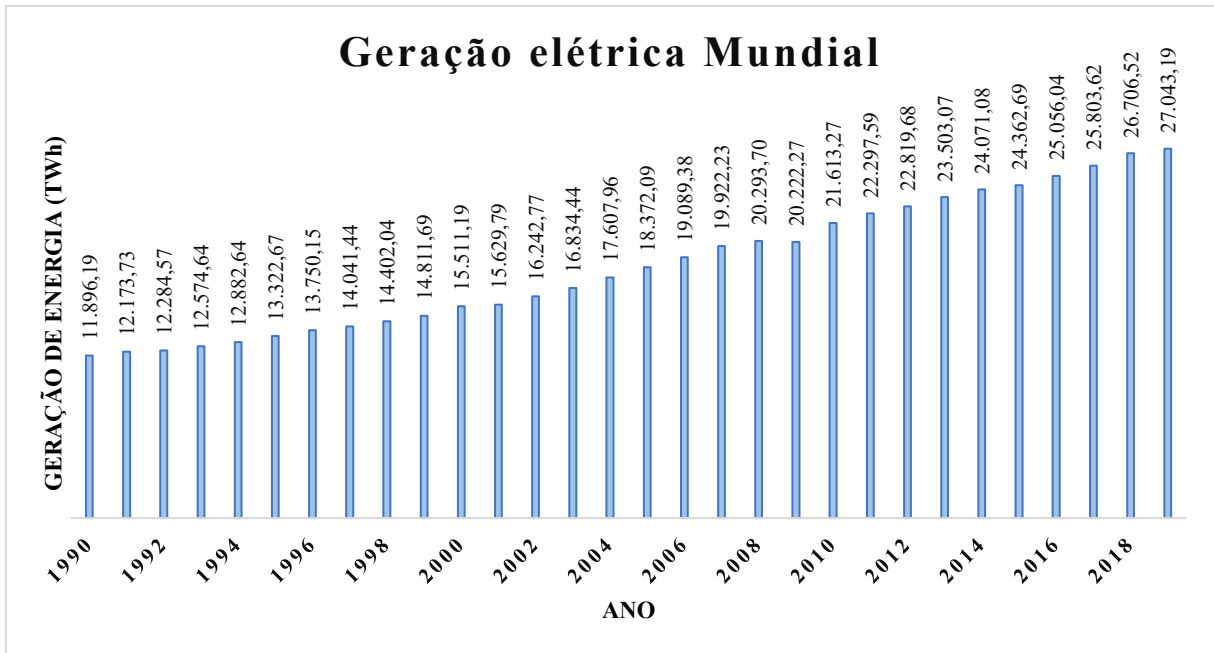


Figura 10: Geração de eletricidade Mundial entre 1990 e 2019.  
Fonte: Adaptado de IEA (2023a).

Analisando a Figura 10 é possível notar que a geração de energia elétrica em todo mundo tem crescido ano a ano, com ressalvas para o período entre 2008 e 2009 onde houve uma pequena queda de geração de energia.

Segundo a IEA (2023b), nos próximos 5 anos, o mundo deve adicionar tanta energia renovável quanto nos últimos 20 anos. A Figura 11, mostra a comparação entre a geração de energia elétrica de fontes renováveis entre 2001-2021 com uma projeção entre 2022-2027.

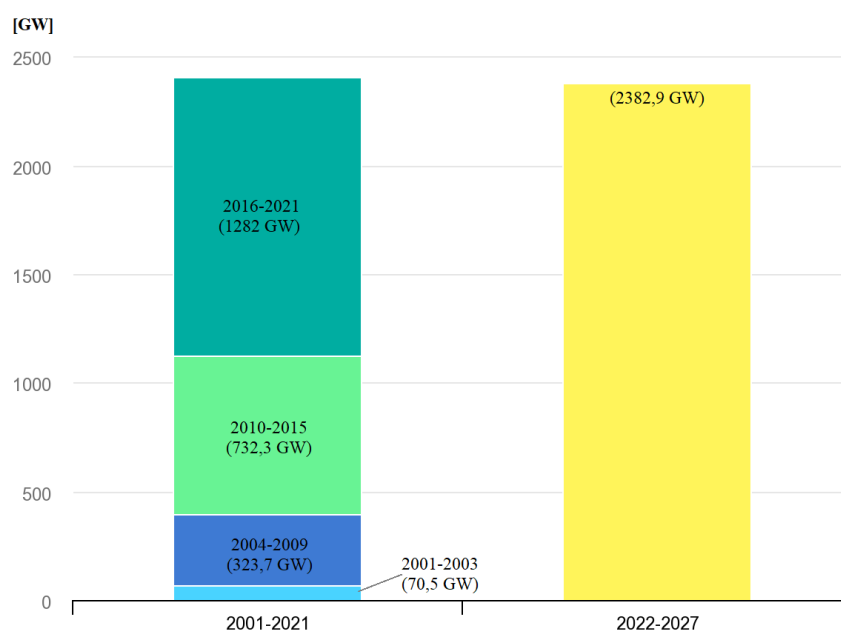


Figura 11: Total de adições de capacidade de eletricidade renovável, 2021-2027.  
Fonte: Adaptado de IEA (2023b).

A projeção mostrada na Figura 11 foi mais acentuada que nos anos anteriores. Isso se deve ao fato que a revisão para cima é impulsionada principalmente pela China, União Europeia, Estados Unidos e Índia, onde estão implementando políticas existentes e reformas regulatórias e de mercado, ao mesmo tempo em que introduzem novas políticas mais rapidamente do que o esperado em reação à crise energética (IEA, 2023b).

Segundo Vian (2021), o sistema fotovoltaico é o que oferece maior possibilidade para aplicações levando em conta diferentes potências instaladas entre todos as fontes renováveis. Ainda de acordo com o autor, tais aplicações podem ser de poucos Watts para grandes usinas gerando energia elétrica na ordem de Megawatts (MW).

O investimento em energia solar fotovoltaica ocorreu de formas distintas nos países com melhor economia no mundo. A Tabela 3 mostra o ano que as principais economias do mundo tiveram, pela primeira vez, um aumento na geração de energia solar fotovoltaica.

Tabela 3: Ano do primeiro aumento significativo na geração de energia fotovoltaica das principais economias do Mundo.

<b>Maiores PIB</b>	<b>Países</b>	<b>Ano</b>	<b>Maiores PIB</b>	<b>Países</b>	<b>Ano</b>
1º	Estados Unidos	2005	11º	Rússia	-
2º	China	2009	12º	Austrália	2010
3º	Japão	2001	13º	Brasil	2017
4º	Alemanha	2003	14º	Irã	2017
5º	Reino Unido	2011	15º	Espanha	2007
6º	Índia	2010	16º	México	2013
7º	França	2009	17º	Indonésia	2018
8º	Itália	2008	18º	Holanda	2017
9º	Canadá	2009	19º	Arábia Saudita	2019
10º	Coreia do Sul	-	20º	Suíça	2011

Fonte: Adaptado de IEA (2023a).

Na Tabela 3 é apresentado o ano onde houve o primeiro aumento significativo na geração de energia elétrica solar das principais economias do mundo. De acordo com Pereira *apud* FMI (2022), os países listados na tabela são os 20 maiores PIB do mundo em 2022. Analisando os anos onde houveram esse aumento significativo é possível constatar que o Brasil, comparado com países grande parte das maiores economias do mundo, apresentou um investimento tardio em energia elétrica fotovoltaica.

A Tabela 4 mostra os países com maiores capacidades instalada de geração de energia elétrica fotovoltaica no mundo em 2018.

Tabela 4: Capacidade instalada de geração solar no mundo - 10 maiores países em 2018 (GW).

	<b>2017 (GW)</b>	<b>2018 (GW)</b>	<b><math>\Delta\%</math> (2018/2017)</b>	<b>Part. % (2018)</b>
<b>Mundo</b>	<b>393</b>	<b>489</b>	<b>24,3</b>	<b>100,0</b>
China	130	175	33,9	35,7
Japão	50	56	13,5	11,5
Estados Unidos	43	51	19,3	10,5
Alemanha	42	45	6,8	9,2
Índia	18	27	50,7	5,6
Itália	20	20	2,2	4,1
Reino Unido	13	13	2,7	2,7
Austrália	7	11	53,9	2,3
França	9	10	11,7	2,0
Coreia do Sul	6	8	38,7	1,7
Brasil (20º)	1	2	162,8	0,5
Outros	55	72	29,4	14,7

Fonte: Adaptado de Brasil (2022 b).

Na Tabela 4 é possível comparar a capacidade instalada entre 2017 e 2018. Nela está listada os 10 países que detêm das maiores capacidades instaladas e o Brasil que ocupava em 2018 a 20ª colocação. Dos países listados na tabela, o Brasil foi o que teve maior investimento percentual entre 2017 e 2018 com um aumento em 2018 de 162,8% comparado com o ano anterior, apesar disso, o país detém de apenas 0,5% da capacidade instalada de geração solar no mundo. Esse percentual baixo reforça o investimento tardio na energia solar.

A Tabela 5 mostra as 14 maiores usinas fotovoltaicas de gerações individuais em operação no mundo em 2021.



Tabela 5: Classificação das maiores usinas fotovoltaicas em operação no mundo.

País	Nome	Capacidade AC (MW)
China	Gonghe	2200
Emirados Árabes Unidos	Sweihan	938
China	Yanchi Solar Park	820
Estados Unidos	Copper Mountain	816
China	Datont Front Runner	800
Espanha	Escatrón-Chiprana-Samper	730
México	Villanueva	700
Índia	Kamuthi	648
Índia	ISTS Lawan-Purohitar	600
Estados Unidos	Solar Star	585
China	Hongshagang	574
Estados Unidos	Topázio	550
Brasil	São Gonçalo	549
China	Yinchuan Xingqing	500

Fonte: Wolfe (2021).

Analisando a Tabela 5 é possível notar que 8 das 14 maiores usinas fotovoltaicas estão localizadas no Continente Asiático, sendo 5 delas instaladas na China. A Usina de São Gonçalo, localizada no estado do Piauí, está sendo construída em 3 etapas, em fevereiro de 2021 a etapa 2 foi concluída e a capacidade de geração passou a ser de 549 MW de potência. Quando a terceira etapa da usina brasileira for finalizada, a capacidade de geração será de 765 MW (WOLFE, 2021).

### 2.3.2 Matriz Elétrica Brasileira

Barros *et al* (2019) afirmam que no final do século XIX o Brasil deu início a estruturação do seu sistema elétrico onde as primeiras usinas e linhas de transmissão construídas eram para alimentar cargas pontuais. Com o passar dos anos tornou-se necessário transportar energia elétrica até as residências fazendo com que o uso da eletricidade fosse disseminado (BARROS *et al*, 2019).

Para Barros *et al* (2019), disponibilizar energia elétrica a todos os consumidores no Brasil, um país com dimensões continentais, não é algo fácil. Os autores ainda pontuam que ocorreram muitas mudanças no sistema elétrico brasileiro desde sua origem e em várias oportunidades, a administração de empresas como distribuidoras e transmissoras de energia, mudaram do setor da iniciativa privada para o poder público. Hoje em dia, a gestão desse setor é realizada em partes por empresas administradas pela iniciativa privada e em outra por

empresas geridas pelo poder público, onde ambas seguem a mesma regulamentação (BARROS *et al*, 2019).

No Brasil, a matriz elétrica é em sua maioria proveniente de fontes renováveis. Isso se deve pelo fato de que grande parte da energia elétrica gerada no Brasil vem de usinas hidrelétricas. A geração de energia elétrica por meio das tecnologias fotovoltaicas e eólica vem crescendo bastante, contribuindo para uma matriz mais diversificada e renovável. A Figura 12 mostra um gráfico comparando a matriz elétrica no Brasil (BRASIL, 2022a).

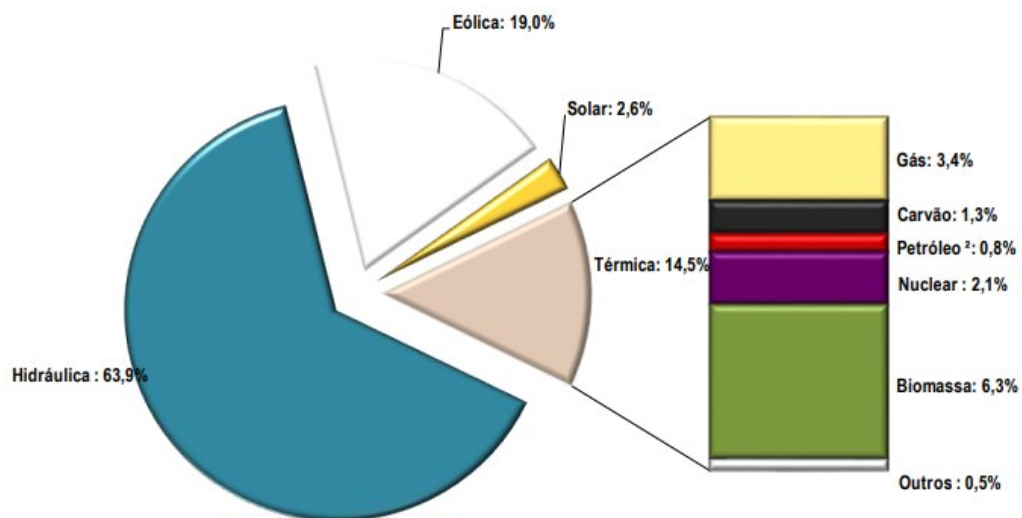


Figura 12: Matriz elétrica no Brasil em 2022.  
Fonte: Brasil (2022a, p. 27).

A Figura 12 deixa claro a dependência do Brasil com relação a energia gerada nas hidrelétricas apesar de que a geração de energia elétrica eólica, de biomassa e solar terem aumentado significativamente se comparado com os meses anteriores. As maiores fontes de geração de energia elétrica no Brasil são, a hidráulica (63,9%), a energia eólica (19,0%) e a biomassa (6,3%). A grande maioria das fontes de energias presentes na matriz elétrica nacional são renováveis.

Ao comparar a utilização de fontes renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo é possível notar o grande investimento feito no país comparado com o resto do mundo. A Figura 13 compara as matrizes elétricas brasileira e mundial em 2018.

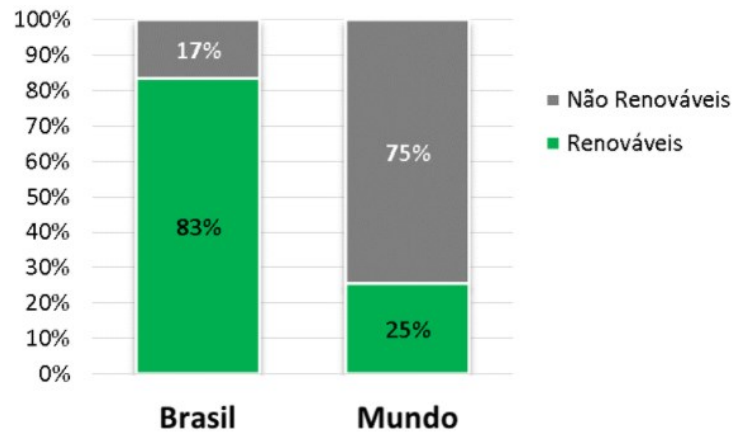


Figura 13: Utilização de fontes renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo.  
Fonte: Brasil (2022b).

É mostrado na Figura 13 que no Brasil as fontes de energia elétrica renováveis (parte verde no gráfico) correspondem a 83% enquanto no mundo, corresponde a 25%.

A Figura 14 mostra a geração de energia elétrica no Brasil nos períodos entre 1990 e 2020.

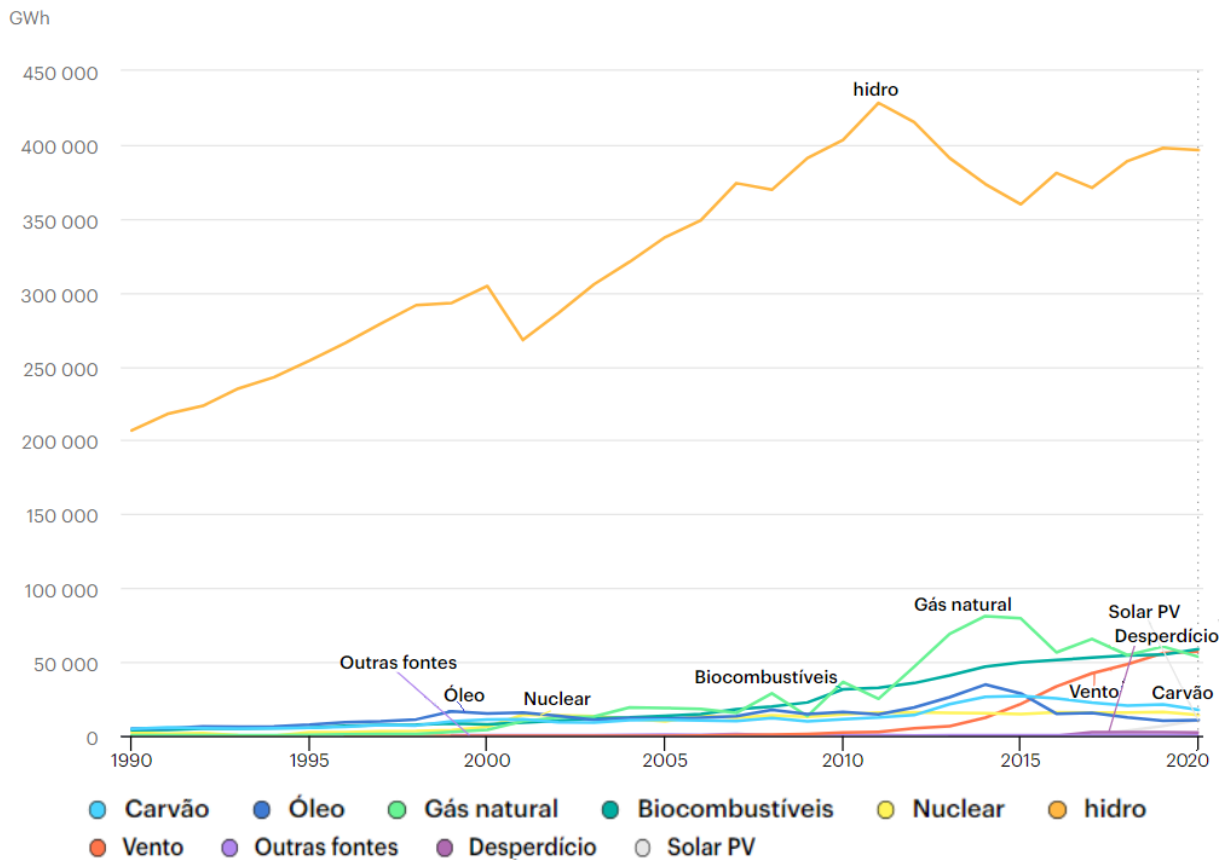


Figura 14: Geração de energia elétrica no Brasil entre 1990 e 2020.  
Fonte: adaptado de IEA (2023a).

Na Figura 14, é possível notar que desde 1990 a energia gerada através da hidráulica é a mais influente na matriz elétrica nacional. A Tabela 6 compara o total gerado por cada fonte de energia no Brasil em 2020.

Tabela 6: Geração de eletricidade por fonte no Brasil em 2020.

Fonte	Geração	%
Hidráulica	396327,00	63,60
Biocombustíveis	58742,00	9,43
Vento	57051,00	9,15
Gás Natural	53464,00	8,58
Carvão	17539,00	2,81
Nuclear	16053,00	2,58
Fotovoltaica	10750,00	1,72
Óleo	10736,00	1,72
Desperdício	2269,00	0,36
Outras fontes	268,00	0,04
<b>TOTAL:</b>	<b>623199,00</b>	<b>100,00</b>

Fonte: adaptado de IEA (2023a).

Na Tabela 6, é mostrado que a energia proveniente da hidráulica foi a fonte mais utilizada para produção de eletricidade no Brasil com 396327,00 gigawatts-hora (GWh) de energia, o que corresponde a 63,6% de toda a matriz nacional.

Segundo o Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro, de outubro de 2022, o Brasil possui a seguinte configuração, mostrada na Figura 15, da capacidade de geração de energia elétrica instalada (BRASIL, 2022 a).

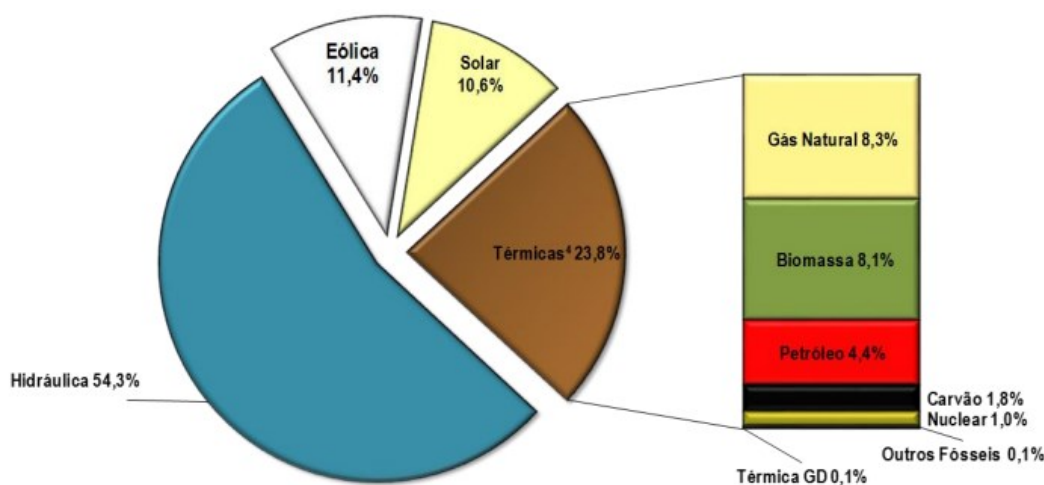


Figura 15: Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil (outubro/2022).

Fonte: Brasil (2022 a, p. 16).

A Figura 15 mostra que as fontes de energia renováveis, hidráulica, eólica, biomassa e solar, correspondem a 84,4% da capacidade instalada em todo o território nacional em setembro

de 2022. Tal cenário mostra o crescimento na utilização da energia fotovoltaica e a redução das fontes hídricas para geração de energia no país se comparado os últimos boletins (BRASIL, 2022a).

De acordo com a IAE (2023a), o consumo de eletricidade no Brasil no período entre 1990 e 2020 teve um aumento significativo. A Tabela 7 apresenta o consumo elétrico nacional entre 1990 e 2020.

Tabela 7: Consumo de energia elétrica no Brasil entre 1990 e 2020 em TWh.

<b>Ano</b>	<b>Geração</b>	<b>Ano</b>	<b>Geração</b>	<b>Ano</b>	<b>Geração</b>	<b>Ano</b>	<b>Geração</b>
<b>1990</b>	217,7	<b>1998</b>	307,0	<b>2006</b>	390,0	<b>2014</b>	531,1
<b>1991</b>	225,4	<b>1999</b>	315,8	<b>2007</b>	412,1	<b>2015</b>	522,8
<b>1992</b>	230,5	<b>2000</b>	331,6	<b>2008</b>	428,2	<b>2016</b>	521,4
<b>1993</b>	241,2	<b>2001</b>	309,7	<b>2009</b>	426,0	<b>2017</b>	528,1
<b>1994</b>	249,8	<b>2002</b>	324,4	<b>2010</b>	464,6	<b>2018</b>	538,4
<b>1995</b>	264,8	<b>2003</b>	342,2	<b>2011</b>	480,1	<b>2019</b>	545,6
<b>1996</b>	277,7	<b>2004</b>	360,0	<b>2012</b>	498,3	<b>2020</b>	540,3
<b>1997</b>	294,7	<b>2005</b>	375,2	<b>2013</b>	516,2		

Fonte: Adaptado de IEA (2023a).

Observando a Tabela 7, é possível observar que os efeitos do racionamento de energia em 2001 e 2002, da crise financeira em 2008, a crise hídrica que o país enfrentou no período entre 2014 e 2017, e a pandemia de COVID-19 em 2020 refletiram no consumo de energia. Fato é que a tendência é que o consumo aumente com o passar dos anos, em 1990 o consumo de eletricidade era de 217,7 TWh e em 2020, o consumo é de 540,3 TWh.

Segundo Brasil (2022), o investimento em Mini e Microgeração Distribuída (MMGD) tem mais que dobrado nos últimos anos. Ainda segundo o autor, a energia fotovoltaica é a principal responsável pelos grandes investimentos em MMGD. As Figuras, 16 e 17, mostram os investimentos em Mini e Microgeração entre 2010 e 2020.

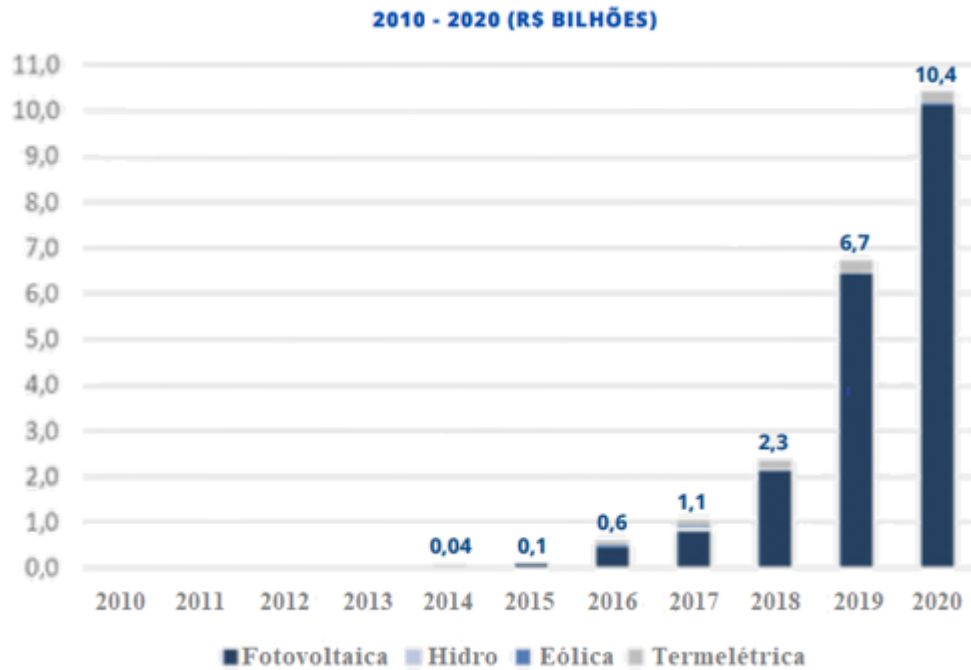


Figura 16: Investimentos Anuais em Mini e Microgeração Distribuída.  
 Fonte: Adaptado de Brasil (2022a c, p.7).

O gráfico em forma de barras exposto na Figura 16 apresenta os investimentos anuais (em bilhões de reais), entre 2010 e 2020, em usinas de Mini e Microgeração Distribuída mostrando a relevância das suas principais fontes (fotovoltaica, hidráulica, eólica e termelétrica) em cada ano deste período.

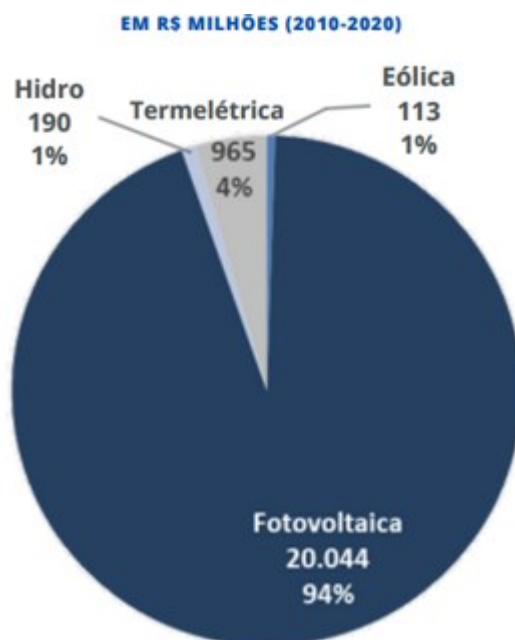


Figura 17: Total de Investimentos entre 2010 e 2020 em MMGD.  
 Fonte: Adaptado de Brasil (2022a c, p. 7).

Já na Figura 17 é apresentado os investimentos feitos (em milhões de reais) em MMGD entre 2010 e 2020 e a porcentagem de capital designado a cada fonte de energia.

A Tabela 8 mostra a geração de energia elétrica através das fontes fotovoltaicas entre 2013 e 2020.

Tabela 8: Geração de energia fotovoltaica no Brasil entre 2013 e 2020.

<b>Ano</b>	<b>Geração (GWh)</b>
<b>2013</b>	5,0
<b>2014</b>	16,0
<b>2015</b>	59,0
<b>2016</b>	85,0
<b>2017</b>	832,0
<b>2018</b>	3461,0
<b>2019</b>	6655,0
<b>2020</b>	10750,0

Fonte: Apitado de IEA (2023a).

Analisando a Tabela 8 é possível notar um crescimento significativo a partir de 2017 na geração de energia fotovoltaica no Brasil.

A Figura 18 mostra o rendimento energético anual máximo, que é medido em kWh de energia elétrica gerada por cada kWp de potência instalada em todo o Brasil. A análise leva em conta desde usinas de grande porte centralizadas e instaladas em solo, como para a geração fotovoltaica distribuída integrada em telhados e coberturas de edificações (VIAN, 2021).

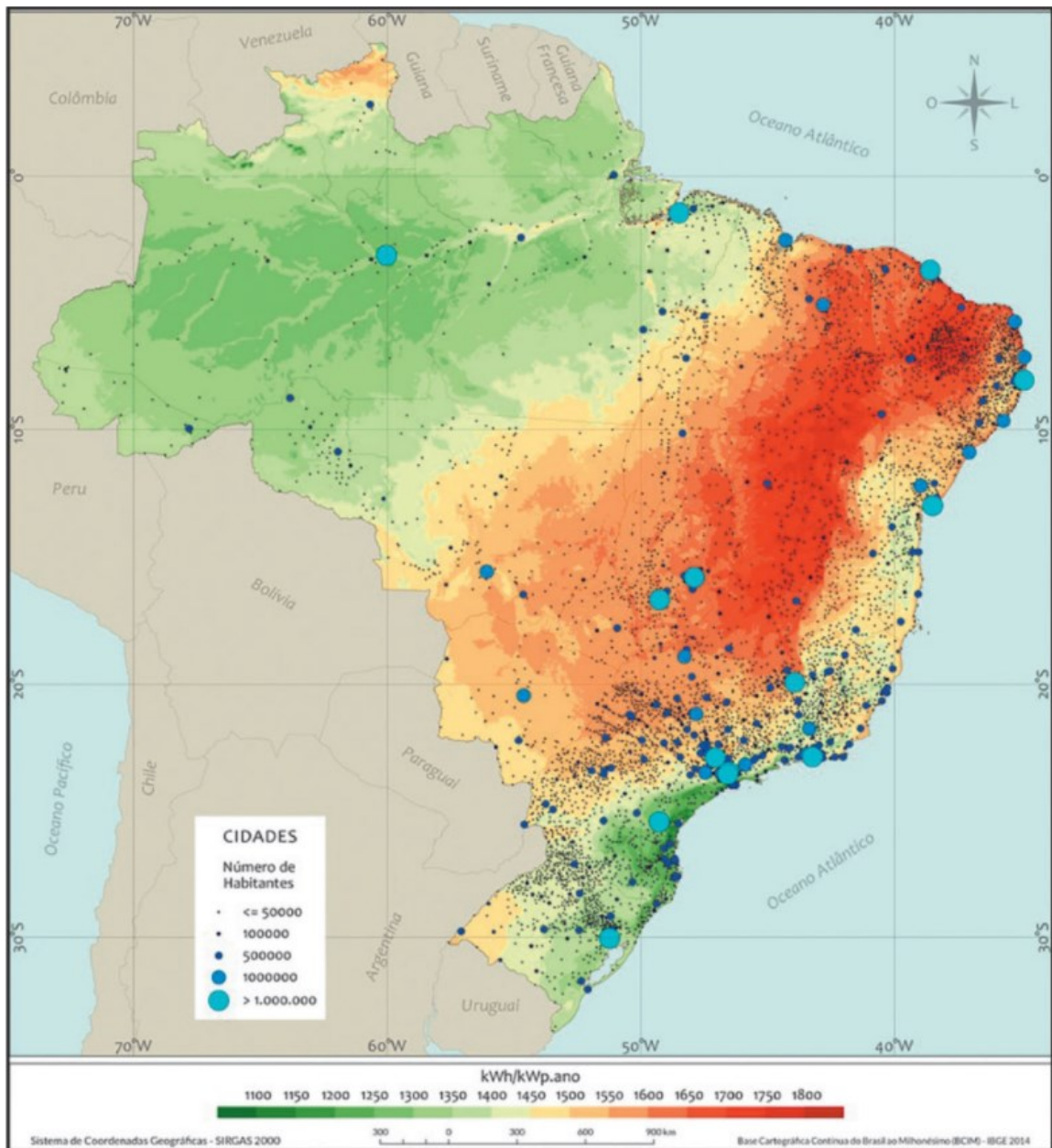


Figura 18: Potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual do território brasileiro.

Fonte: Vian (2021, p.20).

Observando a Figura 18 é possível analisar que o Brasil possui um excelente índice de radiação solar. De acordo com Reis (2011) a região do semiárido, localizada no nordeste brasileiro, possui um dos melhores índices sendo considerada uma das regiões em todo o mundo com maior potencial de geração de energia solar.

De acordo a ANEEL *apud* Badra (2021), o Brasil possui cerca de 670 mil unidades consumidoras (UCs) com geração própria de energia provenientes da fonte solar. Minas Gerais é o estado que possui mais UCs com aproximadamente 120 mil. Levando em conta a potência



nominal, a Tabela 9 mostra as 5 plantas do país com maior capacidade instalada de geração de energia solar fotovoltaica em 2021.

Tabela 9: As 5 maiores plantas solares fotovoltaicas do País.

<b>Estado</b>	<b>Nome</b>	<b>Capacidade (MW)</b>
Piauí	Conjunto Solar São Gonçalo	549
Minas Gerais	Usina Solar Pirapora	329
Bahia	Conjunto Sol do Sertão	286
Piauí	Parque Solar Nova Olinda	210
Bahia	Parque Solar Ituverava	196

Fonte: Adaptado de Badra (2021).

Demonstrado na Tabela 9, o Conjunto Solar São Gonçalo, maior planta do país e a 13ª maior do mundo, está localizado no Piauí e ocupa uma área de 12 milhões m<sup>2</sup>. Sobre as plantas citadas na tabela, 4 das 5 maiores estão localizadas no Nordeste, sendo duas plantas no Piauí e 2 na Bahia. A segunda maior Planta solar do Brasil fica na cidade de Pirapora no interior de Minas Gerais (BADRA, 2021).

### 2.3.3 Termelétricas

De acordo com Rodrigues (2022) uma usina termelétrica utiliza para a geração de energia a energia que é liberada por qualquer produto que gere calor. Reis e Santos (2014), afirmam que existe muitas similaridades entre uma usina termelétrica e uma hidrelétrica, visto que, a produção de energia elétrica se baseia na produção de energia mecânica que irá acionar o rotor do gerador elétrico. Ainda de acordo com os autores, nas termelétricas, a energia mecânica é produzida pela transformação de energia térmica que é originada por meio processos de combustão ou de fissão nuclear. Abaixo está listado os principais combustíveis de uma termelétrica (RODRIGUES, 2022):

- Combustíveis líquidos: Óleo combustível pesado (HFO) e óleo diesel;
- Combustíveis sólidos: Bagaço de diversos tipos de plantas, carvão mineral e o urânio que naturalmente é encontrado como material sólido;
- Combustíveis gasosos: Biogás, gás digestor, gás natural liquefeito, gás natural e outros.

Segundo Silva, Lima e Lima (2022), a crise elétrica que o país passou em 2001 fez com que o Estado reorganizasse o sistema e seus órgãos internos devido a dependência da geração hidrelétrica, que correspondia a 80% da geração elétrica. Ainda segundo os autores, essa

dependência fez com que investimentos em outras tecnologias de geração de energia elétrica ocorresse, trazendo novos modelos de mercado de energia. O sistema de geração e transmissão de energia foi oferecido à iniciativa privada e partir de 2004, leilões de geração e transmissão de energia foram formados, onde os investidores foram atraídos devido aos longos prazos dos contratos e auxílios de financiamentos e investimentos por parte do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social BNDES (SILVA; LIMA; LIMA, 2022).

Silva, Lima e Lima (2022) pontuam que após esses leilões novas empresas foram atraídas para o país tornando a matriz elétrica mais diversificada, fazendo com que a base da geração do país fosse das fontes hidráulicas, térmicas e eólicas. Os autores ainda pontuam atualmente as usinas térmicas, que em 2022 correspondia a 14,5% da Matriz Elétrica Brasileira, tem um papel estratégico pois contribuem para a segurança do Sistema Interligado Nacional – SIN. O SIN é um sistema hidrotérmico de grande porte focado na geração e transmissão de energia, onde a operação, que envolve modelos complexos de simulações, é coordenada pelo Operador Nacional do Sistema elétrico – ONS e fiscalizado e regulado pela ANEEL (BRASIL, 2023b).

Brasil (2023a) afirma que as termelétricas tem atuado significativamente durante os períodos de escassez hidrológica, complementando a geração de energia elétrica. Ainda segundo o autor, a penetração das fontes eólica e solar no sistema nacional, faz com que as usinas termelétricas possam atuar de forma que estabilize a variabilidade na geração de curto prazo dessas fontes.

De acordo com Brasil (2023a) as usinas termelétricas podem cumprir diferentes papéis dependendo do tipo de combustível e da tecnologia de geração, como por exemplo fazer parte da geração contínua, conhecida como geração de base, e também pode atuar na geração complementar a fontes renováveis ou no atendimento às demandas de ponta. A Figura 19 mostra a maior termelétrica a gás natural da América Latina.



Figura 19: Usina Termoelétrica Porto de Sergipe.  
Fonte: Brasil (2020).

Na Figura 19 é mostrado uma vista aérea da Usina Termoelétrica Porto de Sergipe, a maior da América Latina, com potência de 1,5 GW, ao qual converte gás natural liquefeito em energia elétrica (BRASIL, 2020).

Vilela *et al* (2021) afirmam que a crise hídrica de 2021 fez com que os reservatórios ficassem com níveis bem abaixo da média, causando uma preocupação referente a geração de energia no segundo semestre do ano. Os autores ainda pontuam que o governo tomou como medida recorrer ao uso das termelétricas como forma de suprir a geração reduzida de energia elétrica das hidrelétricas.

Poder360 (2022) mostra que em outubro de 2021, o governo federal contratou 14 termelétricas a gás a preço fixo de R\$ 1599,00 por megawatts hora (MWh) pensando no abastecimento do ano de 2022. Em novembro do mesmo ano ocorreu um grande volume de chuva, fazendo com que o volume dos reservatórios aumentasse consideravelmente e tornando mais viável a geração de energia elétrica das fontes hidráulicas. Os valores investidos nas usinas térmicas vão custar ao consumidor, até 2025, cerca de R\$ 10 bilhões anualmente (PODER360, 2022).

Bassi (2022) mostra que no dia 6 de janeiro de 2022 foi sancionado a Lei Nº 14.299 ao qual garante energia gerada por termelétrica movidas a carvão mineral até 2040. Ainda de acordo com a autora, à medida que faz parte do Programa de Transição Energética Justa vai em contrapartida do que foi acordado na Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - COP26 em novembro de 2021, visto que, os países se comprometeram em encerrar novos investimentos em geração de energia a carvão. Enquanto diversos países estão desativando as

termelétricas movido a carvão o Brasil tem investido significativamente na tecnologia (BASSI, 2022).

As usinas termelétricas são bastante nocivas a natureza, principalmente devido aos poluentes que são liberados na atmosfera. A Tabela 10 apresenta algumas causas ou atividades que geram impactos referente as termelétricas.

Tabela 10: principais impactos e suas causas provenientes das Termelétricas.

<b>Causa/Atividade</b>	<b>Impactos</b>
<b>Meio físico</b>	
• Emissão de óxido de enxofre na atmosfera.	• Dependendo da concentração pode influenciar na acidificação da chuva.
• Emissão de dióxido de carbono na atmosfera.	• Contribui para o efeito estufa.
• Vazamento de combustíveis líquidos.	• Contaminação dos cursos de água; • Interferência na fauna e flora aquática.
• Sistema de resfriamento de água aberto.	• Elevação da temperatura da água no corpo receptor; • Redução do oxigênio dissolvido.
<b>Meio biótico</b>	
• Emissões de material particulado, óxido de enxofre, óxido de nitrogênio, hidrocarbonetos e monóxido de carbono na atmosfera; • Sistema de resfriamento de água aberto; • Ocupação da área (desmatamento e terraplanagem).	• Interferência na fauna e na flora.
<b>Meio socioeconômico e cultural</b>	
• Emissão de material particulado na atmosfera.	• Problemas respiratórios; • Efeito estético indesejável.
• Emissão de óxido de enxofre na atmosfera.	• Cheiro irritante; • Problemas respiratórios e cardiopulmonares; • Agressão a materiais diversos.
• Percloração da água da chuva nas áreas de estocagem de combustível sólido.	• Contaminação dos cursos de água com metais lixiviados, sólidos suspensos e/ou dissolvidos e alteração do pH; • Contaminação do lençol freático.

Fonte: Adaptado de Reis e Santos (2023).

Na Tabela 10, são apresentados alguns impactos no meio físico, biótico, socioeconômico e cultural causado pelas termelétricas. A emissão de gases nocivos na atmosfera impacta nos 4 meios citados, contribuindo para o efeito estufa, interferindo na fauna e na flora, causando problemas respiratórios, agredindo materiais diversos, e diversos outros impactos.

## 2.4 Energia fotovoltaica

De acordo com Chivelet (2017), a geração de energia fotovoltaica tem como unidade básica a célula solar, que agrupadas formam os módulos fotovoltaicos. Ainda segundo o autor, os módulos são elementos de fácil manuseio que, conectados entre si, formam um gerador elétrico em uma instalação fotovoltaica. As células solares são fabricadas com materiais semicondutores ao qual absorvem parte da radiação solar que incide sobre eles e transformam em eletricidade (CHIVELET, 2017).

Chivelet (2017) pontua que quando a célula solar é conectada a uma carga elétrica e ligada a um sistema, é produzido uma diferença de potencial nesta carga ao qual fará com que circule corrente elétrica no sistema. Sendo assim, a célula funciona como um gerador de energia elétrica. A Figura 20 mostra o esquema de uma célula solar que recebe radiação.

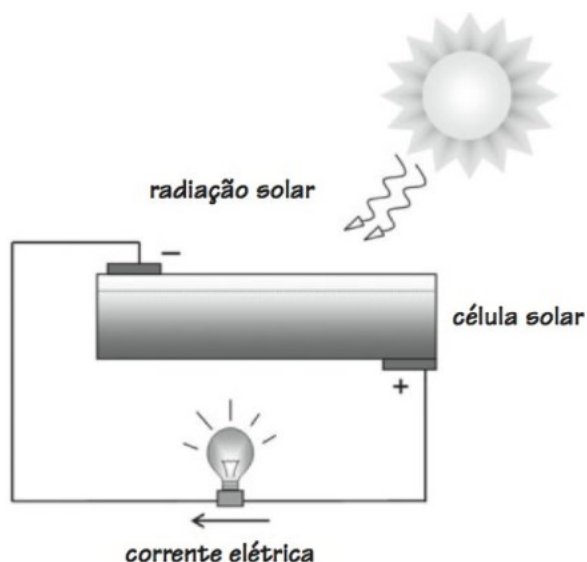


Figura 20: Esquema de uma célula fotovoltaica que recebe radiação solar.

Fonte: CHIVELET (2017, p. 34).

Na Figura 20 é esquematizado como a célula transforma a energia solar em energia elétrica. De acordo com Oliveira (2017) as células convencionais são fabricadas com finas lâminas de silício cristalino, sobre o silício é depositado uma película antirreflexiva de tonalidade azul que melhora o rendimento. Ainda segundo a autora, existem três tipos de silício, em sua forma cristalina, que são utilizados na produção de uma célula fotovoltaica, o silício mono cristalino, o silício policristalino e o silício amorfo.

Segundo Chivelet (2017) as células solares monocristalinas possuem um rendimento superior e um aspecto mais escuro pois sua superfície é texturizada, com a finalidade de aproveitar a luz da melhor forma possível. A Figura 21 mostra duas células solares.

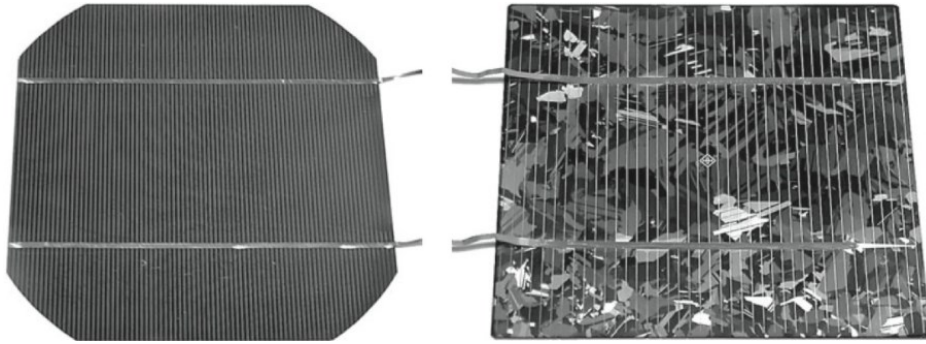


Figura 21: Vista frontal de duas células solares convencionais de silício cristalino.  
Fonte: Chivelet (2017, p.34).

Na Figura 21, a célula mais escura é de silício monocristalino; e a quadrada, com aspecto iridescente, de silício policristalino. As células monocristalinas e policristalinas são estruturas rígidas, as células de silício amorfo são maleáveis ao ponto de os projetos para sua implementação poderem ser adequados a arquitetura do local de instalação. Além disso, elas tentem a ter uma eficiência menor quando comparada com as outras duas células (ROSA *apud* OLIVEIRA, 2017).

Oliveira (2017 p. 12) afirma que:

para a utilização do silício no sistema fotovoltaico, é necessário que este elemento atinja um grau altíssimo de pureza, para alcançar uma qualidade de purificação conhecido como Silício Grau Solar (SiGS) com 99,99% de pureza, necessário para condução de energia elétrica.

A Figura 22 mostra um diagrama de uma usina fotovoltaica residencial interligada à rede elétrica pública.

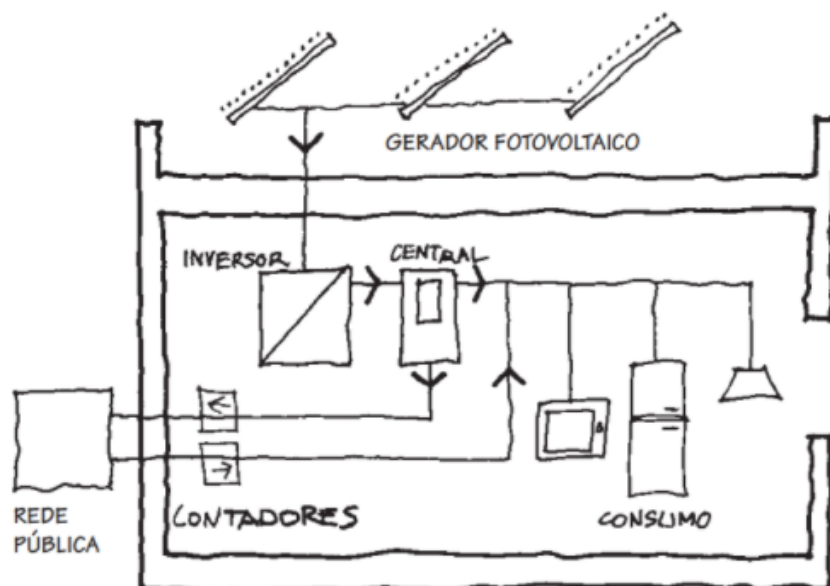


Figura 22: Diagrama de um sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica pública.  
Fonte: CHIVELET (2017, p. 54).

Como mostrado na Figura 22, as placas solares são consideradas os geradores da usina. Como a energia gerada está em corrente contínua, é necessário inversores para que a corrente contínua seja convertida em corrente alternada.

#### 2.4.1 Módulos Fotovoltaicos

Chivelet (2017) pondera que as células solares são conectadas, na grande maioria das vezes em série para obter elevadas correntes, visto que os valores de tensão costumam ser baixos para uma única célula. O autor ainda afirma que a associação de células constitui em uma unidade de geração elétrica chamada módulo fotovoltaico.

De acordo com Chivelet (2017), a potência máxima que um módulo pode gerar, levando em conta as condições padrões de iluminação e temperatura, é chamado de potência de pico. O rendimento de um módulo solar é definido como o cociente entre a potência máxima e a potência luminosa que ele recebe. Quanto maior o rendimento, maior será a geração de potência por unidade de superfície.

A Tabela 11 apresenta um comparativo entre os rendimentos de módulos fotovoltaicos para diferentes tipos de tecnologia.

Tabela 11: Rendimentos típicos de módulos fotovoltaicos de distintas tecnologias.

Tecnologia	Rendimentos típicos (%)
Silício monocristalino	12-15
Silício multicristalino	11-13
CIS	10-11
Telureto de cádmio	9
Silício amorfo	6-7

Fonte: Chivelet (2017, p. 38).

Analisando a Tabela 11 é possível constatar que o rendimento de módulos que utilizam silício amorfo são aproximadamente metade do rendimento dos silícios monocristalino e policristalino.

A Figura 23 mostra a estrutura de um módulo comercial.

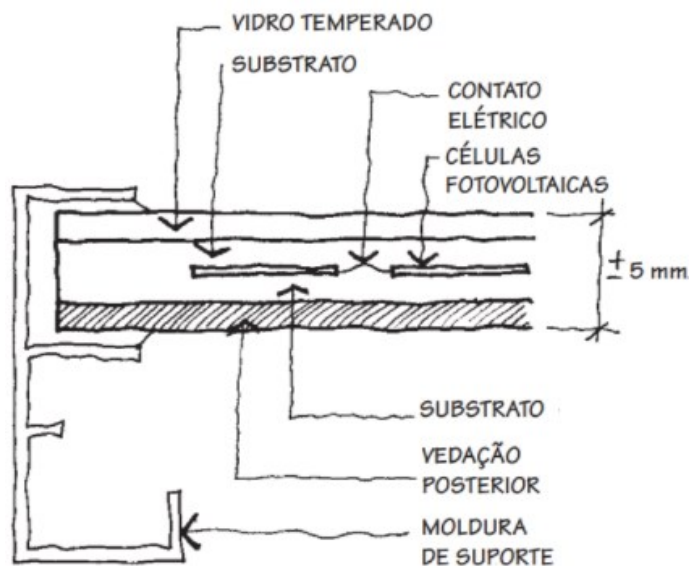


Figura 23: Estrutura laminada habitual de um módulo comercial.  
Fonte: CHIVELET (2017, p. 39).

Na Figura 23, a configuração do módulo é apresentada, mostrando a disposição das células fotovoltaicas, o contato elétrico entre elas, o substrato presente, o vidro temperado que fica na superfície e a camada de vedação da célula. Além disso é apresentado a espessura do módulo e a moldura que encaixará no suporte.

A quantidade de módulos conectados em série é o que determina a tensão de operação do sistema, sendo assim, a potência instalada é dada pela soma da potência nominal de cada módulo. Os módulos fotovoltaicos são projetados e fabricados para operar entre 25 e 30 anos mantendo a eficiência em no mínimo 80% comparado com um módulo novo (TORRES, 2012).

#### 2.4.2 Inversores

De acordo com Chivelet (2017), o inversor de um sistema fotovoltaico que está conectado à rede pública é um dispositivo eletrônico de potência que transforma a corrente contínua em corrente alternada. Após a transformação, a corrente pode ser enviada à rede elétrica ou consumida pela residência. Segundo Torres (2012), a corrente alternada deve possuir características de frequência, conteúdo de harmônicos e forma de onda que possibilita a interconexão com a rede pública.

Torres (2012) ressalta que nas especificações técnicas dos inversores contém informações importante para o dimensionamento e instalação de usinas fotovoltaicas, devido a esse fato, é necessário que elas sejam respeitadas.



### **2.4.3 Orientação dos Módulos**

Segundo Chivelet (2017) qualquer superfície que esteja livre de sombras e bem orientada para o sol é considerado adequada para a instalação de módulos fotovoltaicos. Entretanto, levando em consideração a geração de energia, a posição ideal para os sistemas fotovoltaicos, interligados à rede pública, é orientado ao norte (no hemisfério sul), possuindo uma inclinação compatível com a latitude local (CHIVELET, 2017).

Chivelet (2017) pontua que a irradiância é a energia solar que o módulo recebe por unidade de tempo na superfície. Ainda segundo o autor, é recomendável que os módulos recebam pelo menos 80% da irradiação máxima anual do local. O autor ainda pontua que quando mais preciso for a orientação dos módulos e sua inclinação, menor é a perda anual de irradiação. Sendo assim, este parâmetro possui uma certa importância para que possa ter uma geração fotovoltaica mais eficiente (CHIVELET, 2017).

### **2.4.4 Legislação**

Foi somente a partir de 2012 que o consumidor brasileiro ganhou o direito de gerar a própria energia, de modo que só daí em diante é que os sistemas de energia solar fotovoltaicos passaram a se destacar no cenário nacional. Isso se deu com o surgimento da Resolução Normativa nº 482/2012, da ANEEL ao qual estabelece condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. O capítulo 1, parágrafo I refere-se à microgeração distribuída e determina a central geradora de energia elétrica, com potência menor ou igual a 75kW. O parágrafo XIV adiciona as informações da Resolução Normativa nº 414/2010 itens a fatura dos consumidores que possuem microgeração ou minigeração, fazendo com que os consumidores tenham controle do que produzem e o que é consumido, sendo repassado a rede em uma folha anexa a fatura ou por meio de correio eletrônico (ANEEL, 2017).

A Resolução Normativa nº 687/2015, da ANEEL, a fim de atualizar o respectivo processo, veio a desburocratizar o processo de implantação desses sistemas de geração de energia fotovoltaica. O mesmo documento, também ampliou o tempo para o consumo dos créditos decorrentes do excedente gerado, distribuídos na rede, para 60 meses, inclusive, abrindo a possibilidade de autoconsumo remoto, isto é, tais créditos podem ser utilizados em local diferente de onde aconteceu a geração da energia (ANEEL, 2017).

Em 2013, o Ministério de Minas e Energia incluiu a fonte solar em leilões de energia A-3/2013 e A-5/2013, abrindo a possibilidade de competir igualmente com outras fontes, como eólica e térmicas, na modalidade “por disponibilidade”. No entanto, embora tais leilões tenham gerado interesse de agentes em participar, nenhum projeto fotovoltaico foi vendido devido os custos superiores aos das demais fontes, o que torna o projeto inviável comercialmente. Ao considerar o deságio existente a ANEEL, mesmo com os incentivos existentes propõem alterações na legislação vigente com o intuito de diminuir essa diferença e, conseqüentemente quem arcará com tal custo é o consumidor que além de custear a instalação do sistema fotovoltaico, necessitará pagar pelo lançamento da energia na rede convencional (ANEEL, 2017).

A Resolução Normativa nº 786/2017, da ANEEL, por sua vez, alterou o conceito de minigeração distribuída, mudando, conseqüentemente, aqueles que se enquadram nessa categoria. Isso porque a Resolução Normativa nº 482/2012, determinava que essa categoria, minigeração distribuída, era aquela com “potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada”. Com a mudança em 2017, essa potência instalada superior a 75 kW passou a ser menor ou igual a 5 MW (ANEEL, 2017).

A Tabela 12, mostra a classificação feita pela ANEEL, onde as centrais geradoras fotovoltaicas são classificadas quanto ao porte.

Tabela 12: Classificação da geração fotovoltaica quanto ao porte.

<b>Tipo de GD-FV</b>	<b>Capacidade [MW]</b>
Micro	até 0,1, usualmente em BT
Mini	> 0,1 até 1, usualmente em MT
Pequena	> 1 até 30, usualmente em MT ou AT
Grande	> 30 em AT

Fonte: Vian (2021, p. 15)

De acordo com a Tabela 12, a classificação quanto ao porte pode ser dada em 4 grupos, micro, mini, pequena e grande geração.

A Figura 24 mostra o crescente investimento em instalações de geração distribuída desde 2015.

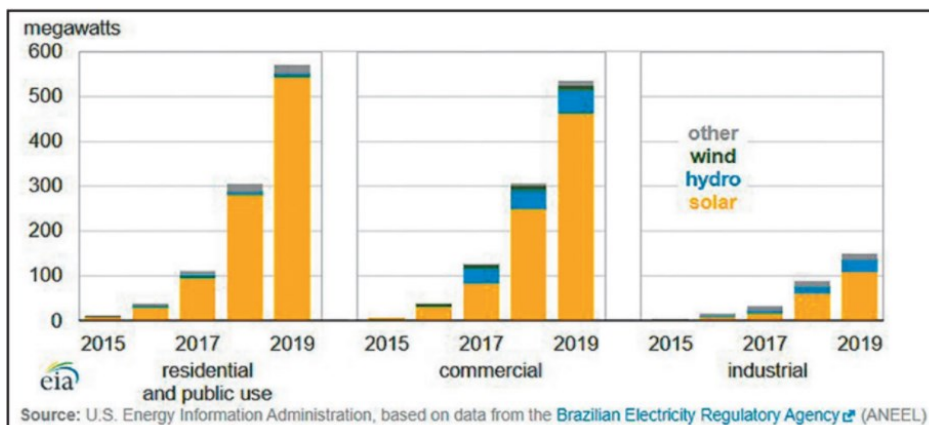


Figura 24: Capacidade instalada em geração distribuída no Brasil de Janeiro 2015 até Novembro 2019.

Fonte: IEA *apud* VIAN (2021, p.21).

Na Figura 24 é possível constatar que houve um aumento significativo de instalações fotovoltaicas, entre 2015 e 2019, principalmente nas zonas residenciais, ultrapassando os 500 MW de capacidade instalada.

Em 2018 foi instituído na legislação brasileira a PRONASOLAR (Política Nacional de Energia Solar Fotovoltaica) ao qual consistem em um programa que tem como objetivo aumentar a geração de energia renovável no país, dando foco para as usinas fotovoltaicas. O incentivo em questão trouxe benefícios para implementação de sistemas solares para geração de energia. Como benefícios podem ser apontados as linhas de créditos para a energia solar, fazendo com que as residências, indústrias e comércio, que tenham investido nessa forma de geração de energia tenham acesso facilitado para créditos, com condições de juros mais acessíveis (PINTO JUNIOR, 2020).

Além disso, a PRONASOLAR *apud* Pinto Junior (2020) tem como objetivo impulsionar o desenvolvimento socioeconômico, atraindo investimentos, gerando empregos e renda por meio do crescimento sólido, sustentável e contínuo do mercado solar fotovoltaico brasileiro.

Segundo Rodrigues e Aleixo (2023), a Lei Nº 14.300 de 06 de janeiro 2022, que é conhecida como o Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída, cobrará uma taxa a partir de 2023 para quem gera energia solar, fazendo com que, o uso da infraestrutura disponibilizada pela distribuidora, conhecido como tarifa do Fio B, seja cobrada. Tal cobrança só será realizada quando existe a injeção de energia na rede.

A Tabela 13 mostra como será a tarifa para energia injetada na rede.

Tabela 13: Tarifa cobrada referente a injeção de energia na rede.

<b>Ano</b>	<b>Tarifa entre 7 de janeiro e 7 de julho de 2023</b>	<b>Tarifa após 7 de julho de 2023</b>
2023	4,1%	4,1%
2024	8,1%	8,1%
2025	12,2%	12,2%
2026	16,2%	16,2%
2027	20,3%	20,3%
2028	24,3%	24,3%
2029	27,0%	Regra a ser definida
2030	27,0%	Regra a ser definida
2031	Regra a ser definida	Regra a ser definida
<b>Isenção até 2045 para quem instalou um gerador fotovoltaico antes de 7 de janeiro de 2023.</b>		

Fonte: Adaptado de Rodrigues e Aleixo (2023).

Na Tabela 13 é apresentado como serão cobradas as tarifas referentes a injeção de energia na rede. Até 2028, a tarifa será a mesma para quem instalou uma usina fotovoltaica após o dia 7 de janeiro de 2023. Algumas taxas ainda serão definidas pela ANEEL.

De acordo com Rodrigues e Aleixo (2023), existem 3 cenários referentes as taxas que serão cobradas devido a injeção de energia. Para quem faz o uso da energia solar desde antes de 7º de janeiro de 2023 não pagará o custo de distribuição até 2045. Ainda segundo os autores, quem fez a adesão no intervalo entre 7 de janeiro e 7 de julho de 2023 haverá um “desconto” de 4,1% por ano, até 2030 do que foi injetado na rede para custear a infraestrutura elétrica e, a tarifa que será cobrada após esse período ainda será discutida pela ANEEL. O consumidor que adquirir um gerador fotovoltaico após 7 de julho 2023, terá as mesmas condições do que quem adquiriu no período anterior, porém, a taxa se aplicará até 2028 e após esse período a regra ainda deve ser defina.

#### **2.4.5 Aspectos Ambientais**

As usinas solares, como todo empreendimento que gera energia elétrica, apresentam vários impactos ambientais. A geração de energia fotovoltaica apresenta impactos ambientais positivos e negativos. A maioria dos impactos causados são durante as fases de implantação e operação, onde as características fisico-climáticas do local e às características dos ecossistemas locais são alteradas. Entretanto, os impactos negativos causados pelo sistema fotovoltaico são bastante reduzidos quando comparado com os impactos positivos e as vantagens de sua implantação (BARBOSA FILHO *et al.*, 2015).

De acordo com Barbosa Filho *et al.* (2015) os impactos causados pela implementação dos sistemas fotovoltaicos de médio e grande porte devem ser monitorados durante todo o processo de instalação visto que causam diversos impactos no meio físico local, como modificações paisagísticas, movimentação de recursos humanos, maquinário, equipamentos e matérias.

Além dos impactos citados, durante a instalação de usinas solares, a geração de resíduos sólidos e riscos de contaminação do solo pode acontecer e podem também ocorrer outras conformidades durante a implementação como a geração de poeiras e gases causando alteração da qualidade do ar (BARBOSA FILHO *et al.*, 2015).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Tipo de Pesquisa

A pesquisa é classificada levando em consideração os objetivos, a forma de abordagem e aos procedimentos técnicos. Quanto aos objetivos a pesquisa pode ser exploratória, descritiva ou explicativa. Levando em conta a forma de abordagem a pesquisa pode ser quantitativa, qualitativa ou mista. Já considerando os procedimentos técnicos, a pesquisa pode se enquadrar em alguns procedimentos como, por exemplo, as pesquisas: bibliográfica, documental, experimental, estudo de caso, pesquisa-ação e pesquisa participante.

Se tratando dos objetivos da pesquisa, este presente trabalho, pode ser classificado como uma pesquisa explicativa, visando explicar a situação elétrica atual relacionando com diversas variáveis desde a crise elétrica mundial, ao investimento em recursos naturais e os novos investimentos relacionados ao tema em questão: A Energia fotovoltaica. Baptista e Campos (2016) afirmam que a pesquisa explicativa tenta explicar a relação entre as variáveis observadas e o estudo observacional terá um caráter analítico, onde o objetivo da pesquisa é explicar uma situação.

De acordo com Baptista e Campos (2016), nas pesquisas quantitativas os dados empíricos são processados após uma coleta e um tratamento objetivo, além disso, a pesquisa deve ser neutra e através do tema deve ser feito um levantamento do referencial teórico e, em seguida, definir as hipóteses e os procedimentos a serem testados. Ainda, os mesmos autores afirmam que, as pesquisas qualitativas são baseadas nas influências das metodologias etnográficas (que estudam valores, crenças e comportamentos em grupo), fenomenológicas (que descrevem a historicidade dos fenômenos individuais ou grupais) e históricas (que consideram as evoluções histórico-culturais relacionadas com determinados fenômenos). Segundo Andrade e Maria (2017), as duas abordagens atualmente devem ser complementares devido ao fato de as técnicas estatísticas utilizadas nas pesquisas quantitativas passarem pela subjetividade dos autores. De acordo com Mattar e Ramos (2021) o método misto de pesquisa incorpora elementos das abordagens qualitativas e quantitativas, gerando uma perspectiva mais completa dos fenômenos estudados.

Por fim, os procedimentos técnicos abordados na pesquisa serão a pesquisa bibliográfica, a pesquisa documental e o estudo de caso, sendo assim, o estudo será baseado em pesquisas relacionadas ao tema juntamente com os leis e normas vigentes para o desenvolvimento, investimento na energia fotovoltaica e um estudo de caso de uma usina

fotovoltaica. De acordo com Baptista e Campos (2016), a pesquisa bibliográfica pode sustentar uma pesquisa documental, visto que, todas as áreas de pesquisa exigem uma investigação prévia do assunto utilizando fontes secundárias de informação, como artigos, livros e relatórios de pesquisas. Mattar e Ramos (2021) afirmam que a pesquisa documental é uma estratégia útil de investigação devido ao fato de os documentos geralmente estarem disponíveis gratuitamente, não precisando de muito esforço para conseguir informações. Sobre o estudo de caso, Yin (2015) afirma que é um dos empreendimentos mais desafiadores das ciências sociais. Ainda segundo o Autor, a coleta, a apresentação e a análise dos dados devem seguir um procedimento para ser realizada de forma correta.

Com base nos relatos expostos, a abordagem do trabalho em questão é definida como mista (qualitativa e quantitativa), de objetivos explicativos e enquadrado como pesquisa bibliográfica, pesquisa documental e com um estudo de caso presente.

### 3.2 Materiais e Métodos

A metodologia utilizada no trabalho é observada na Figura 25.

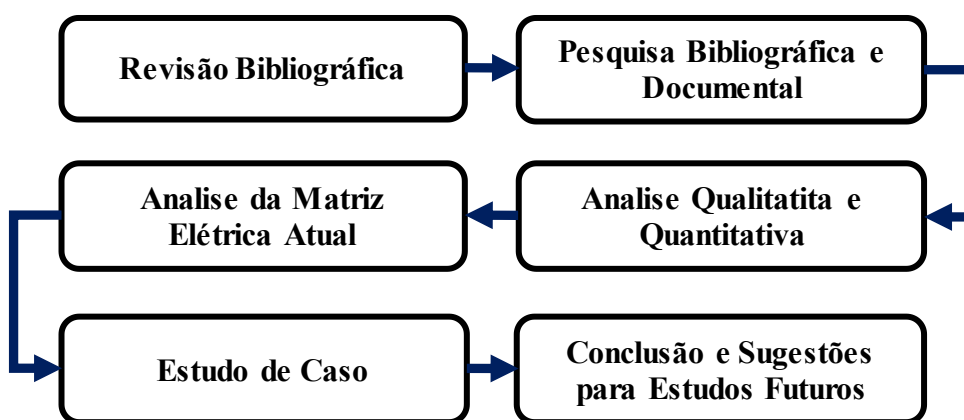


Figura 25: Fluxograma da metodologia utilizada.  
Fonte: Pesquisa direta (2022).

A Figura 25 mostra o fluxograma da metodologia utilizada. Através na revisão bibliográfica é realizada uma pesquisa bibliográfica e documental analisando as leis, investimentos, relatórios e melhorias relacionadas a energia fotovoltaica no Brasil. Em seguida, é feita uma análise da Matriz Elétrica atual e um Estudo de Caso de uma usina fotovoltaica localizada em Paraopeba – MG. Após o estudo de caso, será exposto a conclusão do trabalho com sugestões para estudos futuros.

### 3.3 Variáveis e Indicadores

Carlos (2017, p. 16) define como variável para fins de pesquisa “como qualquer coisa capaz de ser classificada em duas ou mais categorias”. Quanto aos indicadores, o mesmo autor afirma que eles permitem identificar aspectos ou mensurar qualidades relativas a um conceito ou fenômeno, entretanto, nem sempre os indicadores se referem exatamente a variável em questão e sim a um aspecto conexo de menor relevância.

As variáveis e indicadores do estudo estão demonstrados na Tabela 14:

Tabela 14: Variáveis e Indicadores.

<b>Variáveis</b>	<b>Indicadores</b>
Geração de Energia	Energia Mecânica Energia Térmica Energia Química Energia Elétrica Energia Nuclear Energia de Massa Outras Fontes
Usinas Fotovoltaicas	Legislação Aspectos Ambientais Energia Renovável Matriz Elétrica Brasileira

Fonte: Pesquisa Direta (2022).

Na Tabela 14 está indicado as formas de energia como indicadores para a geração de energia. Sobre as Usinas fotovoltaicas os indicadores são a legislação, os aspectos ambientais, a energia renovável e a composição da Matriz Elétrica Brasileira.

### 3.4 Instrumentos de Coleta de Dados

Neste trabalho os dados coletados, em sua maioria, são de livros digitais, artigos e dissertações visando executar a revisão bibliográfica, dando base para as pesquisas bibliográfica e documental. Além disso, tabelas serão analisadas para o desenvolvimento da análise realizada sobre o potencial da energia fotovoltaica no Brasil.

### 3.5 Tabulação dos Dados

Os dados coletados utilizando diversos materiais bases como relatórios, boletins e análises elétricas serão tabulados no *software* Microsoft Excel com a finalidade de organizar e



comparar dados primordiais para o estudo. Os dados referentes a geração de energia da Usina foram extraídos de um aplicativo de telefone chamado ShinePhone ao qual monitora diariamente a geração de energia elétrica.

### **3.6 Considerações Finais do Capítulo**

Foi apresentado no capítulo as metodologias utilizadas para execução das pesquisas, os instrumentos que irão auxiliar na análise e comparação dos dados com a finalidade de alcançar todos os objetivos propostos.

## 4 RESULTADOS

Foi realizado um estudo de caso referente a implementação de uma usina fotovoltaica em uma residência localizada na cidade de Paraopeba-MG. O gerador se enquadra como microgerador fotovoltaico, pois tem geração inferior a 75 kW. A instalação ocorreu em julho de 2021 e para dar andamento ao dimensionamento do projeto foi realizado uma análise das contas de energia para saber tanto o retorno financeiro, quanto o consumo mensal, visando que a usina supra 100% da demanda energética da residência.

Além de ser uma residência, no endereço em questão, funciona uma fábrica de produtos caseiros. Portanto, o consumo de energia é um pouco superior do que de uma residência padrão. No espaço destinado a fabricação das quitandas possui exaustores, ventiladores, refrigeradores, freezers, geladeiras e batedeiras, os quais aumentam consideravelmente o consumo de energia elétrica no local.

### 4.1 Dados coletados antes da Instalação

Para o dimensionamento da usina, foi necessário saber o histórico de consumo de energia, para assim, poder ter um valor mais preciso da quantidade de energia elétrica que a usina deve gerar para suprir os gastos da residência. A Tabela 15 mostra o consumo em kWh e gasto com conta de energia antes da implementação da usina.

Tabela 15: Gasto com conta de energia antes da instalação da Usina.

<b>Mês/Ano</b>	<b>Consumo [kWh]</b>	<b>Valor</b>
JUL/2020	499	R\$ 521,99
AGO/2020	625	R\$ 640,17
SET/2020	615	R\$ 630,77
OUT/2020	734	R\$ 710,82
NOV/2020	654	R\$ 653,76
DEZ/2020	686	R\$ 712,33
JAN/2021	807	R\$ 820,47
FEV/2021	759	R\$ 731,15
MAR/2021	678	R\$ 663,31
ABR/2021	701	R\$ 682,62
MAI/2021	637	R\$ 658,79
JUN/2021	696	R\$ 737,71
<b>Gasto médio:</b>		<b>R\$ 680,32</b>
<b>Consumo médio:</b>		<b>674,25</b>
<b>Gasto total:</b>		<b>R\$ 8.163,89</b>

Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Na Tabela 15 foram analisados os últimos 12 meses antes da instalação da usina fotovoltaica, entre julho de 2020 e junho de 2021. Nela está demonstrado alguns parâmetros como: o consumo mensal, o valor mensal, o valor médio, o consumo médio e o valor total investido em energia elétrica. O consumo médio do período analisado foi de 674,25 kW, sendo o menor consumo em julho de 2020, com 499 kWh consumidos, e o maior em janeiro de 2021, consumindo 807 kWh.

Além do consumo médio mensal, para o dimensionamento foi considerado equipamentos que seriam anexados ao endereço após a instalação da usina. A Tabela 16 mostra o provável consumo que será gasto com os novos equipamentos.

Tabela 16: Consumo dos novos equipamentos que serão usados no endereço da usina.

<b>Produto</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Consumo Total Mensal [kWh]</b>
Ar-condicionado 9000 Btus	2	34,2
Refrigerador Industrial 1000 Litros	1	141
Liquidificador Industrial 8 Litros	1	45
<b>Consumo aproximado de todos os equipamentos: 220,2 kWh</b>		

Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Na Tabela 16 está listado os equipamentos que serão instalados na residência e na fábrica de produtos caseiros. Para os cálculos foram considerados dois ares-condicionados, um refrigerador industrial e um liquidificador industrial. Os ares-condicionados e o refrigerador funcionarão 24 horas por dia e o liquidificador aproximadamente 4 horas e 30 minutos diariamente.

Para o dimensionamento do gerador foi considerado o valor médio de consumo, de aproximadamente 675 kWh, acrescidos os valores de consumo mensal dos novos aparelhos que é de 220,2 kWh. Logo, a usina deve gerar 897,2 kWh por mês com a finalidade de atender a demanda da residência.

Segundo a Solarvolt (2023), para que a usina, localizada no hemisfério sul, possa captar a maior incidência solar durante o ano, os módulos fotovoltaicos devem estar orientados ao norte geográfico. Além disso, foi necessário calcular a inclinação das estruturas onde as placas foram acopladas. Para o cálculo foi utilizado a equação abaixo (SOLARVOLT, 2023):

$$\text{Inclinação} = \text{Latitude} + \left(\frac{1}{3} \times \text{Latitude}\right) \quad (1)$$

Onde:

- Inclinação: Inclinação em graus necessária para captar a maior incidência solar durante o ano;
- Latitude: Latitude local em graus.

Para resolução da Equação 1 foi utilizado a latitude de Paraopeba/MG. Segundo Cidade Brasil (2021), a latitude do município em questão é de  $19^{\circ} 16' 54''$ . Portanto, a inclinação necessária é de:

$$\text{Inclinação} = 19^{\circ} 16' 54'' + \left(\frac{1}{3} \times (19^{\circ} 16' 54'')\right)$$

$$\text{Inclinação} = 19^{\circ} 16' 54'' + (6^{\circ} 25' 38'')$$

$$\text{Inclinação} = 25^{\circ} 42' 32'' \approx 25^{\circ}$$

Por fim, para que a usina consiga aproveitar aproximadamente 100% da energia irradiada, os módulos foram orientados ao norte geográfico com inclinação de  $25^{\circ}$ .

Para o cálculo do consumo médio diário usa-se a Equação 2:

$$C_{MD} = \frac{C_{MM}}{30} \quad (2)$$

Onde:

- $C_{MD}$  é o consumo médio diário;
- $C_{MM}$  é o consumo médio mensal.

Através da Equação 2 é possível calcular o consumo médio diário. Temos que:

$$C_{MD} = \frac{897,2}{30} = 29,907 \text{ kWh}$$

Para o cálculo do número de horas de sol pleno, é levado em consideração uma irradiação a pino, que segundo Vian (2021, p. 75) “A irradiação de  $1000 \text{ W/m}^2$  é definida como a irradiação a pino e corresponde ao valor máximo que usualmente se encontra nas diferentes localidades da Terra quando o sol está a pino num dia de céu claro, sem nuvens”. Além disso, foi levado em consideração a irradiação média da cidade de Paraopeba-MG. Pinho e Galdinho (2014, p. 30) afirma que o número de horas de sol pleno pode ser calculado pela Equação 3:

$$HSP = \frac{Ir_{Média}}{Ir_{Pino}} \quad (3)$$

Onde:

- $HSP$  é o número de horas de sol pleno;
- $Ir_{Média}$  é a irradiação solar média;
- $Ir_{Pino}$  é a irradiação solar a pino.

A irradiação solar média da cidade de Paraopeba–MG segundo o Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito – CRESESB (2023) é de 5,2 Wh/m<sup>2</sup>.

Utilizando a Equação 3, o número de horas de sol pleno é de:

$$HSP = \frac{5,2 \times \left(\frac{kWh}{m^2}\right)}{1 \times \left(\frac{kWh}{m^2}\right)} = 5,2 \text{ h}$$

Vale ressaltar que não significa que haverá apenas 5,2 horas de sol no dia, mas apenas nos horários entre 11h e 16h em dias ensolarados a irradiação solar alcançará níveis próximos a 1(kWh/m<sup>2</sup>) e as placas gerarão na potência nominal.

Portanto, o número de horas de sol pleno na região de Paropeba-MG é de 5,2 horas.

Para o cálculo da potência de pico foi utilizado a Equação 4 (PINHO; GALDINO, 2014, p. 329):

$$P_{FV} = \frac{(C_{MD}/TD)}{HSP} \quad (4)$$

Onde,

- $P_{FV}$  é a potência máxima para suprir a demanda do sistema fotovoltaico, dada em Watt-pico (Wp);
- $C_{MD}$  é o consumo médio diário;
- $TD$  é a taxa de desempenho;
- $HSP$  é o número de horas de sol pleno.

Segundo Pinho e Galdinho (2014), a Taxa de Desempenho (PR – *Performance Ratio*) é a relação entre desempenho real do sistema sobre o desempenho máximo teórico possível e é levado em consideração a potência real do sistema e todas as perdas envolvidas. Ainda segundo

os autores, em residências bem ventiladas e não sombreadas a taxa varia entre 70 e 80% nas condições solares de radiação no Brasil. O TD escolhido para o gerador fotovoltaico foi de 80%.

Utilizando a Equação 4, temos:

$$P_{FV} = \frac{29907 (Wh)/0,8}{5,2 (h)}$$

$$P_{FV} = 7189,10 Wp$$

Portanto, o inversor do sistema deve suportar uma potência de 7189,10 watts-pico.

Para o cálculo da quantidade de módulos é utilizado a Equação 5:

$$N_{módulos} = \frac{P_{FV}}{P_{módulos}} \quad (5)$$

Onde:

- $N_{módulos}$  é o número de módulos necessários para o funcionamento da usina;
- $P_{módulos}$  potência de cada módulo.

Como a potência do módulo é de 450 W, a quantidades de módulos são:

$$N_{módulos} = \frac{7189,10}{450}$$

$$N_{módulos} = 15,98 \approx 16 \text{ módulos}$$

Serão usados 16 módulos fotovoltaicos de 450 Watts de potência na usina.

## 4.2 Descrição da Usina Fotovoltaica

Após o dimensionamento a usina ficou com a seguinte configuração:

- 16 módulos fotovoltaicos de 450 Watts-pico (Wp) da marca Jinko;
- 1 inversor de conexão à rede modelo 8 kWp, 2MPPRT, marca Growatt;
- 1 String Box;
- Estruturas fixadoras feitas em aço inox para painéis.

Os módulos utilizados no gerador fotovoltaico possuem garantia de 12 anos contra defeitos de fabricação e detêm de uma vida útil estimada de 25 anos. A Figura 26 mostra um módulo fotovoltaico da marca Jinko com 450 W de potência.

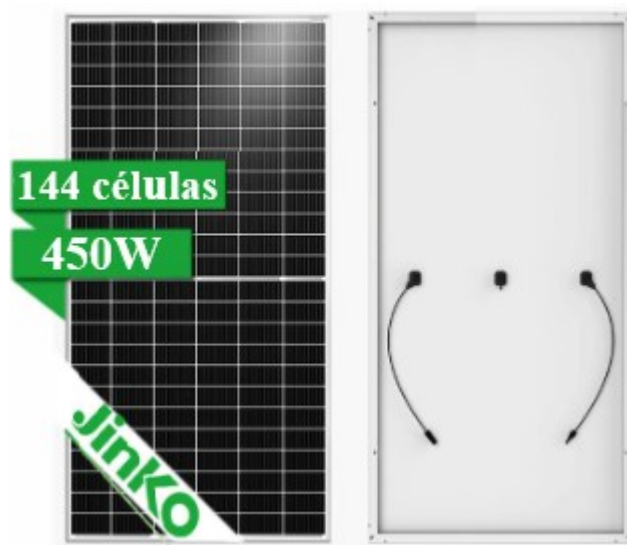


Figura 26: Módulo fotovoltaico de 450W de potência.  
 Fonte: Adaptado de Jinko *apud* Made-in-China (2023).

Na Figura 26, o módulo fotovoltaico da Jinko, modelo JAM120S-450 e contém 144 células. Além disso, possui uma eficiência energética de 20,82% e as células são de silício monocristalino (JINKO *apud* MADE-IN-CHINA, 2022).

É recomendado que a limpeza dos módulos aconteça periodicamente de 4 em 4 meses, ou pelo menos duas vezes trimestrais no período seco (entre os meses de abril e setembro). A limpeza das placas pode ser realizada apenas utilizando água, pano ou algum instrumento de limpeza com cerdas macias e não abrasivas.

A Figura 27 mostra o inversor Growatt utilizado no gerador fotovoltaico.



Figura 27: Inversor Growatt.  
 Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Segundo Energy Shop (2023), o inversor mostrado na figura 27 possui uma potência máxima de entrada de 10,5 kW, uma eficiência máxima de até 98,4%, 16,8 quilogramas e conexão Wi-Fi. Além disso, é possível monitorar a geração de energia diária por um aplicativo, o ShinePhone, disponível para celulares em sistemas operacionais IOS ou Android.

O inversor escolhido possui potência máxima de 10,5 kW, no dimensionamento será utilizado no máximo 7,189 kW. Como o inversor não está trabalhando na capacidade máxima de entrada, é possível aumentar a quantidade de energia gerada no futuro, desde que, seja instalado mais placas. A margem de potência que poderá ser utilizada no inversor é de aproximadamente 3,310 kW. Sendo assim, é possível instalar mais 7 placas de 450 Wp. A Tabela 17 mostra a quantidade de energia elétrica que pode ser gerado por placa.

Tabela 17: Geração mensal por módulo fotovoltaico de 450 Wp instalado na residência.

<b>Geração Total [kWh]</b>	<b>Quantidade de Placas</b>	<b>Geração por Placa [kWh]</b>
897,20	16	56,08

Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Na Tabela 17 é constatado que cada módulo na usina consegue gerar aproximadamente 56 kWh por mês. Com o acréscimo de 7 módulos, mantendo a orientação igual a das outras placas já instaladas, será possível aumentar a geração em aproximadamente 392 kWh mensal.

A String Box é um componente de proteção da parte de Corrente Contínua (CC) no Sistema Fotovoltaico. A Figura 28 mostra uma String Box comercial.

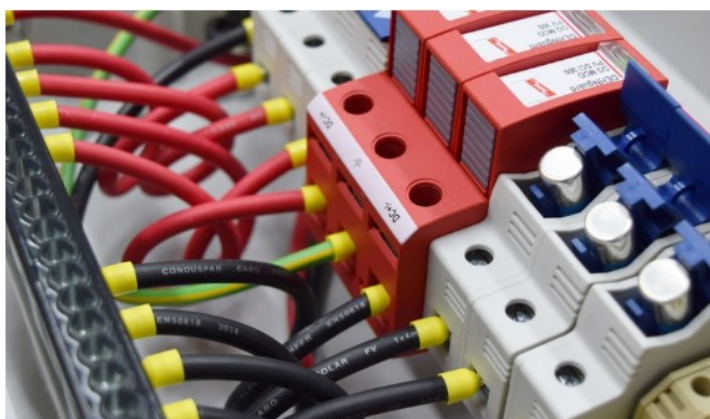


Figura 28: String Box comercial.

Fonte: Adaptado de Vinturini (2023).

Na Figura 28, é mostrado um equipamento fundamental para a instalação elétrica entre os módulos e o inversor, a String Box. De acordo com o Vinturini (2019), a caixa conecta os cabos vindo dos módulos fotovoltaicos ao inversor, fornecendo assim, proteção contra



sobretensão, sobrecorrente e permitindo seccionamento do circuito. Ainda segundo o autor, a utilização da String Box é necessária para o cumprimento das normas, NBR 5410 (norma brasileira de instalações elétricas de baixa tensão) e a NBR 16690 (norma brasileira sobre sistemas fotovoltaicos), visando a proteção contra choque elétrico, contra efeitos térmicos e incêndios.

A Figura 29 mostra uma vista aérea do gerador fotovoltaico.



Figura 29: Usina fotovoltaica em Paraopeba/MG.  
Fonte: Pesquisa Direta (2021).

A figura 29 apresenta uma fotografia retirada por um drone que sobrevoava a residência localizada no Bairro Jardim Clara Nunes da cidade de Paraopeba/MG. Nela, é possível ver 16 módulos fotovoltaicos dispostos em um telhado. As antenas que estão demonstradas na parte inferior da figura foram retiradas para que não façam sombras nas placas.

### 4.3 Geração da Usina e Consumo da Residência

Com relação a geração de energia elétrica, a Tabela 18 apresenta a quantidade gerada em cada mês desde a sua instalação.

Tabela 18: Geração de Energia em kWh nos anos de 2021 e 2022.

<b>Mês</b>	<b>2021 [kWh]</b>	<b>2022 [kWh]</b>
Janeiro		900,0
fevereiro		771,6
março		1074,9
Abril		1009,9
Maio		960,1
Junho		908,9
Julho	746,1	924,7
Agosto	912,6	867,0
Setembro	1034,3	782,0
Outubro	902,3	920,8
Novembro	882,6	795,9
Dezembro	878,5	752,1
<b>Média</b>	<b>892,7</b>	<b>889,0</b>

Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Na Tabela 18 é apresentado a geração de energia após a instalação do gerador fotovoltaico. A instalação da usina foi concluída no dia 07 de julho de 2021, a leitura do mês em questão, corresponde ao intervalo entre os dias 8 e 31. No mês de março de 2022 foi registrado a maior geração de energia, tendo gerado 1074,9 kWh. Já dezembro de 2022 foi o mês com menor geração de energia, gerando apenas de 752,1 kWh. As médias geradas em cada ano estão bem próximas do valor de 897,2 kWh ao qual a usina foi dimensionada para gerar.

Apesar de a geração estar condizente com o dimensionamento, entre agosto de 2021 e setembro de 2022, houve excedente na geração de energia se comparado ao consumo da residência. Essa sobra ocorreu, devido ao fato de que os equipamentos que seriam adquiridos e que foram considerados no cálculo para o dimensionamento da usina, acabaram não sendo instalados no período esperado.

Devido a esse fato, a partir de setembro de 2021, foi injetado energia elétrica em uma república estudantil localizada em Ouro Preto - MG. A quantidade destinada condiz com o valor excedente de geração no mês. A Tabela 19 mostra a quantidade de energia destinada para o endereço em Ouro Preto.

Tabela 19: Energia injetada no endereço em Ouro Preto.

<b>Mês/Ano</b>	<b>Quantidade Injetada (kWh)</b>	<b>Valor Economizado</b>
SET/2022	184	R\$ 120,18
OUT/2022	166	R\$ 108,42
NOV/2022	88	R\$ 57,48
DEZ/2022	52	R\$ 33,96
Quantidade Total Compensada: <b>490 kWh</b>		
Valor Total Economizado em Energia: <b>R\$ 320,03</b>		

Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Analisando a Tabela 19 é possível notar a economia na conta de energia após injeção do excedente. De acordo com Cemig (2023), os valores injetados variaram mensalmente e o preço de 1 kWh da energia injetada no período entre setembro e dezembro de 2022 é de 0,65313 real. Nesses 4 meses houve uma injeção de 490 kWh, com uma economia de R\$ 320,03 nas contas de luz da república estudantil.

O excedente gerado mensalmente, desde que não seja injetado em outra rede, fica como crédito e pode ser utilizado dentro de 5 anos. O crédito pode ser usado apenas no endereço da usina fotovoltaica, portanto, é necessário que o consumo no endereço registrado do gerador seja superior do que a geração no mês em questão. Entre julho de 2021 e agosto de 2022 houve mensalmente um excedente na geração e, neste período, teve um crédito total de 2972 kWh que possui validade entre julho de 2026 e agosto de 2027.

Nos meses de janeiro e fevereiro de 2023 a residência da usina teve consumo superior a geração e, devido a esse fato, foi utilizado parte do crédito disponível. A Tabela 20 mostra o valor do crédito utilizado e o saldo restante.

Tabela 20: Crédito utilizado desde a instalação da usina.

<b>Mês/Ano</b>	<b>Crédito Utilizado [kWh]</b>	<b>Saldo [kWh]</b>
DEZ/2022	0	2972
JAN/2023	135	2837
FEV/2023	91	2746

Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Na Tabela 20 é apresentado os meses que foram utilizados os créditos disponíveis devido a geração de energia. É possível notar que houve consumo maior que a geração apenas nos meses de janeiro e fevereiro de 2023. Como o consumo foi 135 kWh superior a geração em janeiro e 91 kWh em fevereiro, o mesmo valor em cada mês foi abatido dos créditos disponíveis.

Para melhor entendimento das possíveis situações referentes a geração de energia, consumo e excedentes foi feito um fluxograma mostrado na Figura 30.

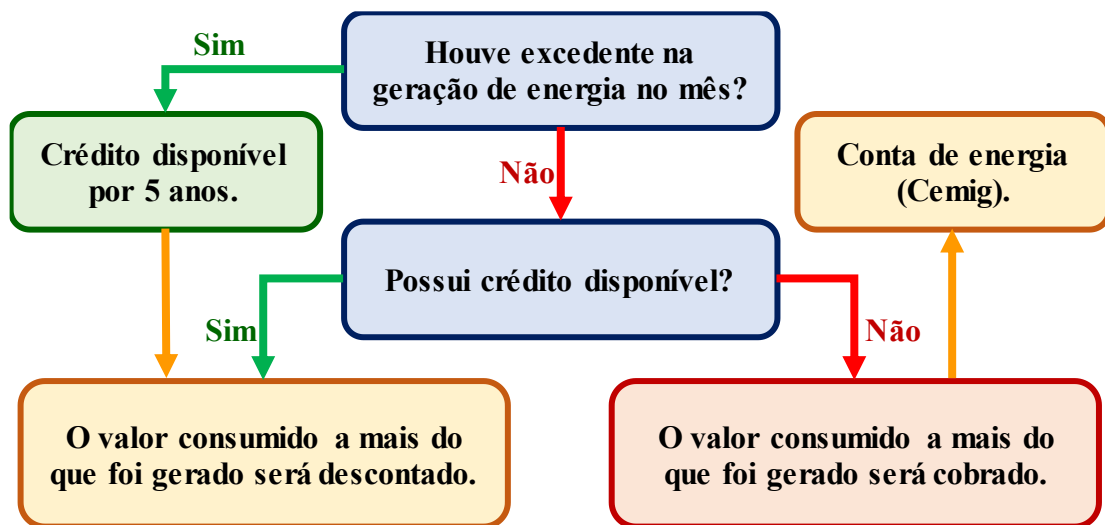


Figura 30: Fluxograma mostrando as possíveis situações comparando geração e consumo.  
Fonte: Pesquisa Direta 2023.

Na Figura 30, o fluxograma apresenta as possíveis situações quando a geração de energia da usina teve ou não excedente. Caso tenha excedente no mês, os créditos poderão ser usados dentro de 5 anos. Na situação onde o consumo foi maior que a geração, se existir créditos válidos é possível utilizá-los, mas, se não tiver crédito disponível, os quilowatts-hora além do valor gerado no mês serão cobrados na conta de luz.

#### 4.4 Análise dos Gastos antes e depois da Instalação

A Tabela 21 mostra os gastos entre agosto de 2021 e julho de 2022.

Tabela 21: Gasto com conta de energia elétrica após a instalação da Usina.

<b>Mês/Ano</b>	<b>Valor</b>
AGO/2021	R\$ 77,54
SET/2021	R\$ 83,83
OUT/2021	R\$ 85,23
NOV/2021	R\$ 85,25
DEZ/2021	R\$ 84,56
JAN/2022	R\$ 84,54
FEV/2022	R\$ 84,55
MAR/2022	R\$ 84,27
ABR/2022	R\$ 68,90
MAI/2022	R\$ 63,26
JUN/2022	R\$ 63,33
JUL/2022	R\$ 62,60
<b>Gasto médio:</b>	<b>R\$ 77,32</b>
<b>Gasto total:</b>	<b>R\$ 927,86</b>

Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Na Tabela 21 é demonstrado os gastos com energia dos 12 meses subsequentes à instalação da usina fotovoltaica. O Gasto médio neste período foi de R\$ 77,32 e o gasto total foi de R\$ 927,86.

A Tabela 22 mostra a diferença em reais gasto em energia elétrica antes e depois da instalação da usina.

Tabela 22: Gasto em energia elétrica antes e depois da instalação da Usina Fotovoltaica (R\$).

Entre Julho de 2020 e Junho de 2021:	R\$ 8.163,89
Entre Agosto de 2021 e Julho de 2022:	R\$ 927,86
<b>Diferença entre os gastos:</b>	<b>R\$ 7.236,03</b>

Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Ao analisar a Tabela 22, os gastos nos 12 meses, anteriores e subsequentes a instalação, nota-se uma relevante discrepância. A diferença entre os gastos foi de R\$ 7.236,03.

A Tabela 23 apresenta a economia em percentual do preço das contas de eletricidade

Tabela 23: Relação do preço de conta de energia antes e depois da instalação da usina.

<b>Antes da Instalação</b>		<b>Após a Instalação</b>		<b>Economia</b>
<b>Mês/Ano</b>	<b>Valor</b>	<b>Mês/Ano</b>	<b>Valor</b>	<b>%</b>
AGO/2020	R\$ 640,17	AGO/2021	R\$ 77,54	87,9%
SET/2020	R\$ 630,77	SET/2021	R\$ 83,83	86,7%
OUT/2020	R\$ 710,82	OUT/2021	R\$ 85,23	88,0%
NOV/2020	R\$ 653,76	NOV/2021	R\$ 85,25	87,0%
DEZ/2020	R\$ 712,33	DEZ/2021	R\$ 84,56	88,1%
JAN/2021	R\$ 820,47	JAN/2022	R\$ 84,54	89,7%
FEV/2021	R\$ 731,15	FEV/2022	R\$ 84,55	88,4%
MAR/2021	R\$ 663,31	MAR/2022	R\$ 84,27	87,3%
ABR/2021	R\$ 682,62	ABR/2022	R\$ 68,90	89,9%
MAI/2021	R\$ 658,79	MAI/2022	R\$ 63,26	90,4%
JUN/2021	R\$ 737,71	JUN/2022	R\$ 63,33	91,4%
<b>Economia média de 88,3%</b>				

Fonte: Pesquisa Direta (2023).

Os dados utilizados na Tabela 23 comparam os mesmos meses, porem em anos distintos com a finalidade de encontrar a economia em percentual das contas de energia baseando no mesmo período do ano. Para melhor entendimento, o gasto no mês de agosto de 2020 foi comparado com o gasto no mês de agosto de 2021, tendo uma economia de 87,9%. Por fim, a economia média da conta de energia dos períodos analisados é de 88,3%.

O custo da usina fotovoltaica foi de R\$ 31000,00. Durante o dimensionamento da usina, foi estipulado um retorno financeiro com base na provável economia mensal (em reais) após o funcionamento do gerador. A previsão de retorno que era de 5 anos, agora é de 4 anos e 3 meses, considerando que a economia anual será similar aos gastos em energia elétrica no período entre agosto de 2021 e julho de 2022.

## 5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 Conclusão

Esta monografia teve como objetivo analisar a geração de energia fotovoltaica como uma forma de diversificar qualitativamente a matriz elétrica nacional, reduzindo assim, a dependência das fontes hidráulicas para a geração de eletricidade. Durante o desenvolvimento do trabalho foi mostrado a influência da geração fotovoltaica no Brasil e no Mundo. Ao analisar a geração de energia elétrica foi possível constatar que existe um investimento significativo nos últimos anos em energia elétrica renovável, principalmente em energia solar.

Ao analisar boletins de Monitoramento Elétrico do Sistema Elétrico Nacional foi notado que a geração solar tem tido um aumento significativo no país, juntamente com a sua capacidade instalada. Isso se deve a vários fatores, como a redução do custo de instalação, a alto índice de irradiação solar em boa parte do território nacional e diversas políticas públicas que influenciaram os investimentos principalmente em Micro e Mini Geração Distribuída (MMGD).

No trabalho em questão, foi listado diversos impactos ambientais causados pelas usinas termelétricas em suas diferentes fontes de geração de energia. Além disso, é evidente que existe um potencial imenso para geração de energia fotovoltaica no país. Além disso, a geração fotovoltaica é menos agressiva ao meio ambiente e a população que geração termelétrica.

Foi realizado um estudo de caso de uma usina fotovoltaica, instalada na cidade de Paraopeba – MG. No estudo em questão foi avaliado os parâmetros para o dimensionamento da usina, sua geração e os possíveis destinos para o excedente na geração. Além disso é avaliado o custo de implementação e a economia em contas de energia após o seu funcionamento.

Outro aspecto abordado é a injeção de excedente em outro endereço. A usina em questão injetou o excedente de sua geração durante 4 meses em uma república estudantil em Ouro Preto – MG. Segundo CRESESB (2023), a cidade em questão possui irradiação solar média bem inferior se comparado com Paraopeba – MG. Se tratando de uma cidade tombada historicamente, existem limitações visuais para instalação de módulos fotovoltaicos no centro de Ouro Preto, o que inviabiliza a construção de usinas no local. Entretanto, uma usina que não está instalada no centro histórico de Ouro Preto pode injetar energia nas redes de residências localizadas nessa região.

Após a análise da economia obtida no primeiro ano após a instalação foi constatado que a economia derivada da redução nas contas de energia é bastante significativa. Caso o cenário se estenda nos próximos anos, a usina irá se pagar em aproximadamente 4 anos e 3 meses, ou seja, os mesmos R\$ 31.000,00 que foram investidos para a instalação do gerador serão economizados em contas de energia elétrica no prazo citado.

## **5.2 Recomendações**

Após a análise dos resultados encontrados, foi identificado novas abordagens para trabalhos futuros. Ao analisar as leis vigentes referente a utilização da energia fotovoltaica, o crescente investimento na tecnologia e a instalação de uma usina, fica como recomendações:

- Os impactos da Lei N° 14.300 de 06 de janeiro 2022 no investimento na tecnologia;
- A influência das manutenções nos módulos fotovoltaicos na geração de energia elétrica;
- Analise da viabilidade da instalação de usinas Termosolares.



## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.

- ANDERSEN, Inger. **Diretor executivo do Programa Ambiental da ONU para o Relatório da Situação Global das Renováveis de 2019**. 2019.
- ANDRADE, M.M.D.; MARIA, L.E. **Metodologia do Trabalho Científico**, 8ª edição. Grupo GEN, 2017. 9788597012408. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597012408/>. Acesso em: 03 jan.
- ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. **Banco de Informações da Geração (BIG)**, 2017. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>.
- AZEVEDO, Lara G. S., **Um olhar Geopolítico sobre as Fontes de Energia que movem o Mundo**. Goiânia - GO: PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS; 2021 [cited 2021 Oct 15]. 19 s. Available from: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1854/1/TCC%20Lara%20Gabrielle.pdf> Graduação de Geografia.
- BADRA, Mateus. **Confira as 5 maiores usinas fotovoltaicas do Brasil**. 2021. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/confira-as-5-maiores-usinas-fotovoltaicas-do-brasil/>. Acesso em: 02 jan. 2022.
- BAPTISTA, Makilim N.; CAMPOS, Dinael Corrêa de. **Metodologias Pesquisa em Ciências - Análise Quantitativa e Qualitativa, 2ª edição**. [Digite o Local da Editora]: Grupo GEN, 2016. *E-book*. ISBN 9788521630470. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521630470/>. Acesso em: 03 mar. 2023.
- BARBOSA FILHO, Wilson Pereira *et al.* **Expansão da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Impactos Ambientais e Políticas Públicas**. 2015. P.628-642. Disponível em: <https://core.ac.uk/reader/300481890>. Acesso em: 04 jan. 2022.
- BARROS, Benjamim.Ferreira. D, *et al.* **Geração Transmissão distribuição**. Editora Saraiva, 2019. 9788536532493. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536532493/>. Acesso em: 19 nov. 2021.
- BASSI, Fernanda. **Governo garante uso de energia a carvão até 2040**. . Leia mais no texto original: (<https://www.poder360.com.br/governo/governo-garante-uso-de-energia-a-carvaio->

ate-2040/) © 2023 Todos os direitos são reservados ao Poder360, conforme a Lei nº 9.610/98. A publicação, redistribuição, transmissão e reescrita sem autorização prévia são proibidas. 2022. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/governo/governo-garante-uso-de-energia-a-carvao-ate-2040/>. Acesso em: 02 mar. 2023.

BRASIL. **Constituição. Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. . **Fontes**: Termelétricas. 2023a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao/fontes>. Acesso em: 01 mar. 2023.

BRASIL. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. . **Matriz Energética e Matriz Elétrica**. 2022b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 31 jan. 2023.

BRASIL. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. . **Séries Históricas**: Investimento de Energia Elétrica. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2022c. 12 p. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-700/Ebook%202020.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2023.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. . **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro**: outubro/2022. Brasília - Df. ., 2022a. p. 27 f. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico/2022/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico-outubro-2022.pdf/view> Acesso em: 31 jan. 2023.

BRASIL. SERVIÇOS E INFORMAÇÕES DO BRASIL. . **Energia**: maior termoelétrica a gás natural da américa latina é inaugurada em sergipe. Maior termoelétrica a gás natural da América Latina é inaugurada em Sergipe. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/08/maior-termoeletrica-a-gas-natural-da-america-latina-e-inaugurada-em-sergipe#:~:text=%E2%80%9CPorto%20de%20Sergipe%20%C3%A9%20a,R%24%201%2C2%20mil.>. Acesso em: 02 mar. 2023.

BRASIL. SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL - SIN. . **Sistema Interligado Nacional**. 2023b. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/sar/sin>. Acesso em: 01 mar. 2023.

- CARLOS, GIL,. A. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**, 6ª edição. Grupo GEN, 2017. 9788597012934. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597012934/>. Acesso em: 04 jan. 2022.
- CEMIG. **Histórico de Contas**. 2023. Disponível em: <https://www.atendimento.cemig.com.br/portal/services/bills-history>. Acesso em: 18 fev. 2023.
- CHIVELET, Niura. M. **Técnicas de Vedação Fotovoltaica na Arquitetura**. Grupo A, 2017. 9788577806461. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577806461/>. Acesso em: 02 jan. 2022.
- CIDADE BRASIL (ed.). **Município de Paraopeba**. 2021. Disponível em: <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-paraopeba.html#:~:text=Situado%20a%20761%20metros%20de,%C2%B0%2024%2032%20Oeste..> Acesso em: 17 fev. 2023.
- CRESESB, Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito, Rio de Janeiro. **Potencial Solar - SunData v 3.0**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em: 03 mar. 2023.
- CRUZ, Eduardo. **Eletricidade Básica - Circuitos em Corrente Contínua - 2ª Edição Revisada**. Editora Saraiva, 2018. 9788536528663. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536528663/>. Acesso em: 19 nov. 2021.
- ENERGY SHOP. **Inversor Grid Tie Growatt 8KW Monofásico 220V 2MPPT**. Disponível em: <https://www.energyshop.com.br/inversor-solar/inversor-grid-tie/inversor-grid-tie-growatt-8kw-monofasico-220v-2mppt>. Acesso em: 18 fev. 2023.
- IEA, **Key World Energy Statistics**, 2023a, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021>. Acesso em: 30 jan. 2023a.
- IEA. **What is behind soaring energy prices and what happens next?**, 2021, IEA, Paris <https://www.iea.org/commentaries/what-is-behind-soaring-energy-prices-and-what-happens-next>. Acesso em: 14 out. 2021.
- IEA. **Renewables: fuels & technologies**. Fuels & Technologies. 2023b, IEA, Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables>. Acesso em: 31 jan. 2023.

IMHOFF, Johninon. **Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos**. Orientador: Prof. Hélio Leães Hey. 2007. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8608/JOHNINSONIMHOFF.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 out. 2021.

MADE-IN-CHINA. **A elevada eficiência Jinko 450W meia célula constituídos Painel Solar para Sistemas de Home**. Disponível em: [https://pt.made-in-china.com/co\\_jingsun/product\\_High-Efficiency-Jinko-450W-Half-Cell-Monocrystalline-Solar-Panel-for-Home-Systems\\_oyruhohug.html](https://pt.made-in-china.com/co_jingsun/product_High-Efficiency-Jinko-450W-Half-Cell-Monocrystalline-Solar-Panel-for-Home-Systems_oyruhohug.html). Acesso em: 10 fev. 2023.

MATTAR, João.; RAMOS, Daniela. K. **Metodologia da pesquisa em educação: Abordagens Qualitativas, Quantitativas e Mistas**. Grupo Almedina (Portugal), 2021. 9786586618518. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786586618518/>. Acesso em: 04 jan. 2022.

MOREIRA, Simões. **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. Grupo GEN, 2017. 9788521633785. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521633785/>. Acesso em: 16 nov. 2021.

NASCIMENTO, Cássio Araújo do. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**. Orientador: Prof. Es. Carlos Alberto Alvarenga. 2004. 21 f. Monografia (Pós-Graduação em Fontes alternativas de energia) - Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG, 2004. Disponível em: [https://www.solenerg.com.br/files/monografia\\_cassio.pdf](https://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf). Acesso em: 15 out. 2021.

OLIVEIRA, Adriana de Souza. **Avaliação de Impactos Ambientais do Módulo Fotovoltaico: Produção e uso como Fonte de Energia Elétrica**. 2017. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2017. Disponível em: [https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/31252/1/2017\\_AdrianadeSouzaOliveira.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/31252/1/2017_AdrianadeSouzaOliveira.pdf). Acesso em: 04 jan. 2022.

PEREIRA, Leonardo. **As 20 maiores economias do mundo em 2022: maiores pib do mundo**. Maiores PIB do Mundo. 2022. Disponível em:

<https://www.dicionariofinanceiro.com/maiores-economias-do-mundo/>. Acesso em: 28 fev. 2023.

PHILIPPI JR, Arlindo.; REIS, Lineu. Belico. D. **Energia e sustentabilidade**. Editora Manole, 2016. ISBN 9786555761313. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555761313/>. Acesso em: 16 nov. 2021.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio (org.). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2014. Grupo de Trabalho de Energia Soltar - GTES - CEPEL - DTE - CRESESB. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf). Acesso em: 06 mar. 2023.

PINTO JUNIOR, Luiz Alberto Wagner. **O que diz a legislação de Energia Solar no Brasil? Confira 5 pontos!** 2020. Disponível em: <https://hccenergiasolar.com.br/posts/o-que-diz-a-legislacao-de-energia-solar-no-brasil-confira-5-pontos/>. Acesso em: 04 jan. 2022.

PODER360. **Governo faz gestão equivocada de termelétricas**. 2022. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/energia/governo-faz-gestao-equivocada-de-termeletricas/>. Acesso em: 01 mar. 2023.

REIS, Lineu Belico dos; SANTOS, Eldis C. **Energia Elétrica e Sustentabilidade: Aspectos Tecnológicos, Socioambientais e Legais**. [Digite o Local da Editora]: Editora Manole, 2014. E-book. ISBN 9788520443033. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520443033/>. Acesso em: 01 mar. 2023.

REIS, Lineu Belico. D. **Geração de Energia Elétrica**. Editora Manole, 2011. 9788520443088. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520443088/>. Acesso em: 18 nov. 2021.

RODRIGUES, Gabriel Gomes. **Avaliação da potência gerada por área ocupada entre usinas termelétricas a gás natural e usina termosolar**. 2022. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022. Disponível em: [https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/34851/2/Avalia%  
c3%a7%c3%a3oDaPot%  
c3%aancia.pdf](https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/34851/2/Avalia%c3%a7%c3%a3oDaPot%c3%aancia.pdf) Acesso:01 de março de 2023.

RODRIGUES, Karina; ALEIXO, Rafael. **Taxa solar: veja o que muda para o consumidor com as novas regras sobre a geração própria de energia.** 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/ap/amapa/noticia/2023/01/16/taxa-solar-veja-o-que-muda-para-o-consumidor-com-as-novas-regras-sobre-a-geracao-propria-de-energia.ghtml>. Acesso em: 03 mar. 2023.

SHINEPHONE. **Comparação de potência.** Disponível em: <https://apps.apple.com/br/app/shinephone/id669936054>. Acesso em: 05 jan. 2023.

SILVA, Jordan Vinicius Lopes da; LIMA, Edijadson Rodrigues de; LIMA, Alycia Monike Silva Lins de. **Eficiência de Usina Termelétrica Combustão Interna - Ciclo Aberto.** 2022. 27 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade dos Guararapes, Recife, 2022. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/24212>. Acesso em: 01 mar. 2023.

SÓ FÍSICA. **Geradores de corrente elétrica.** Virtuoso Tecnologia da Informação, 2008-2021. Consultado em 19/11/2021 às 12:06. Disponível na Internet em <http://www.sofisica.com.br/conteudos/Eletromagnetismo/Eletrodinamica/geradores.php>

SOLARVOLT. **Orientação e Inclinação dos Painéis Solares no Brasil. Como Definir?** 2023. Disponível em: <https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/orientacao-inclinacao-paines-solares-fotovoltaicos/>. Acesso em: 01 fev. 2023.

TORRES, Regina Célia. Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais. 2012. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18147/tde-18032013-091511/publico/dissertacao\\_final\\_rct.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18147/tde-18032013-091511/publico/dissertacao_final_rct.pdf). Acesso em: 04 jan. 2022.

VIAN, Ângelo. **Energia Solar Fundamentos Tecnologia e Aplicações.** Editora Blucher, 2021. 9786555500592. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555500592/>. Acesso em: 14 out. 2021

VILELA, Arthur *et al.* **A crise hídrica e seus impactos na produção de energia.** 2021. Disponível em: <https://jornalismorio.espm.br/destaque/a-crise-hidrica-e-seus-impactos-na-producao-de-energia/#:~:text=A%20crise%20h%C3%ADdrica%20fez%20com,uma%20fonte%20barata%20e%20limpa..> Acesso em: 03 mar. 2023.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações** – sistemas isolados e conectados à rede. Editora Érica, 2012.

VINTURINI, Mateus. **Entenda as especificações básicas dos componentes da string box**. 2019. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/entenda-as-especificacoes-basicas-string-box/#:~:text=mesmos%20princ%C3%ADpios%20b%C3%A1sicos,-,A%20string%20box%20%C3%A9%20o%20componente%20de%20prote%C3%A7%C3%A3o%20da%20parte,permite%20o%20seccionamento%20do%20circuito..> Acesso em: 17 fev. 2023.

WOLFE, Philip. **As maiores usinas de energia solar do mundo**. 2021. Disponível em: <https://www.pv-magazine.com/2021/09/09/the-worlds-largest-solar-power-plants/>. Acesso em: 27 dez. 2021.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso**. Grupo A, 2015. E-book. 9788582602324. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582602324/>. Acesso em: 18 ago. 2022.